



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LAS TRAMPAS
DE VAPOR INSTALADAS EN EL HOSPITAL DEL IGSS DE ESCUINTLA**

Mario Luis Jiménez

Asesorado por el Ing. Roberto Guzmán Ortiz

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LAS TRAMPAS
DE VAPOR INSTALADAS EN EL HOSPITAL DEL IGSS DE ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO LUIS JIMÉNEZ

ASESORADO POR EL ING. ROBERTO GUZMÁN ORTIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Edgar Orlando Pinzón Trangay
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Vargas Véliz

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LAS TRAMPAS DE VAPOR INSTALADAS EN EL HOSPITAL DEL IGSS DE ESCUINTLA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 28 de octubre de 2014.

Mario Luis Jiménez

Guatemala 14 de julio del 2016

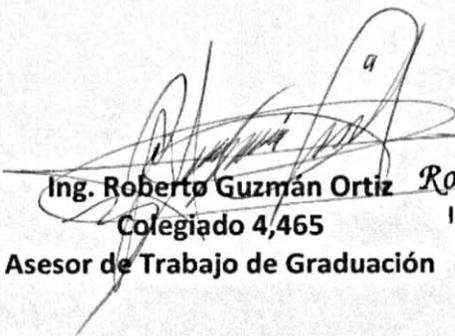
Ingeniero
ROBERTO GUZMÁN ORTIZ
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Respetuosamente le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado "PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LAS TRAMPAS DE VAPOR INSTALADAS EN EL HOSPITAL DEL IGSS DE ESCUINTLA", presentado por el estudiante **Mario Luis Jiménez**, carné 1996-16989, y después de haber realizado las correcciones pertinentes considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que, en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos necesarios para continuar con el trámite correspondiente.

Atentamente


Ing. Roberto Guzmán Ortiz *Roberto Guzmán Ortiz*
Colegiado 4,465 INGENIERO MECANICO
Asesor de Trabajo de Graduación COLEGIADO No. 4465



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.229.2016

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LAS TRAMPAS DE VAPOR INSTALADAS EN EL HOSPITAL DEL IGSS DE ESCUINTLA** desarrollado por el estudiante **Mario Luis Jiménez, carné 199616989** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Coordinador Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, agosto 2016



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.298.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LAS TRAMPAS DE VAPOR INSTALADAS EN EL HOSPITAL DEL IGSS DE ESCUINTLA** del estudiante **Mario Luis Jiménez**, carné No. **199616989** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



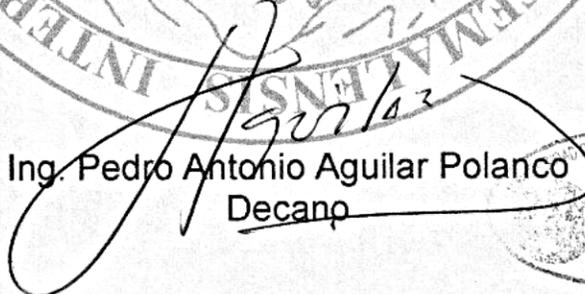
Guatemala, noviembre de 2016

/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LAS TRAMPAS DE VAPOR INSTALADAS EN EL HOSPITAL DEL IGSS DE ESCUINTLA**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Luis Jiménez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, noviembre de 2016

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme iluminado y guiado desde el inicio hasta el final de mi carrera.
Mi madre	Marta Amalia Jiménez Barrios, por sus sabios consejos.
Mi esposa	Laura Dalila Díaz Gatica, por ser una importante y buena influencia en mi carrera.
Mis hijos	Mariana, Mario y Gabriela Jiménez Díaz, por ser mis razones de este triunfo.
Mis tíos	Erwin Omar y Magali Jiménez Barrios, Mario René y Clara Luz Pacheco, por ser mis tíos con quienes más me identifiqué.
Señora	Mérida Rosales (q. d. e. p.) y su esposo Juan Ambrocio, porque siempre estuvieron pendiente de mi persona.
Amigos	Oscar Vinicio Marroquín y Marcos García, por ser mis amigos con quienes más me identifiqué.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante parte de mi vida y abrirme las puertas para llegar a cumplir este sueño.
Facultad de Ingeniería	Porque a través de sus catedráticos adquirí muchos conocimientos que me han sido de mucha utilidad.
Mis catedráticos	Que con mucho gusto y sin egoísmo me brindaron sus conocimientos.
Mi asesor	Ing. Roberto Guzmán, que con mucho gusto y esmero me apoyó y me animó en mi trabajo de graduación.
Hospital del IGSS de Escuintla	Por permitirme y abrirme las puertas para llevar acabo el estudio de mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES DEL HOSPITAL	1
1.1. Antecedentes del hospital.....	1
1.2. Descripción de los equipos que generan vapor.....	1
1.3. Descripción de los equipos que consumen vapor	6
1.4. Descripción de la tubería de distribución de vapor	8
1.5. Antecedentes del mantenimiento de la red de vapor y de sus equipos	9
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Vapor.....	11
2.1.1. Definición y características del vapor	11
2.1.2. Clasificación del vapor.....	12
2.1.3. Generadores de vapor y su mantenimiento.....	13
2.1.4. Elementos de los generadores de vapor y su mantenimiento	23
2.2. Trampas de vapor	31
2.2.1. Definición de trampas de vapor	31
2.2.2. Clases de trampas de vapor	32

2.2.3.	Importancia de las trampas de vapor	44
2.2.4.	Mantenimiento de las trampas de vapor.....	44
2.2.5.	Factores a tomar en cuenta para la selección de una trampa de vapor	47
2.2.6.	Factores de seguridad recomendados para las trampas de vapor	50
2.3.	Condensado.....	53
2.3.1.	Definición del condensado	53
2.3.2.	Problemas que causa el condensado en las tuberías de vapor	54
2.3.3.	Fórmulas de uso general para el cálculo de cargas de condensado	54
2.3.4.	Tablas de formación de condensado durante la puesta en marcha.....	55
2.3.5.	Tablas de formación de condensado en régimen...58	
3.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	61
3.1.	Evaluación del sistema de tuberías.....	61
3.1.1.	Pérdida de calor por falta de aislante térmico en tuberías	63
3.1.2.	Pérdida de calor por falta de aislante térmico en accesorios	76
3.1.3.	Pérdida de vapor por fugas	78
3.1.4.	Ubicación y tipos de trampas de vapor	88
3.2.	Mantenimiento en operación	90
3.2.1.	Control de operación diaria	93
3.2.2.	Fichas de control de la caldera.....	95
3.2.3.	Inspección de fugas en la tubería y sus accesorios	97

3.2.4.	Inspección de trampas de vapor.....	99
3.3.	Mantenimiento fuera de operación	104
3.3.1.	Mantenimiento de la caldera.....	108
3.3.2.	Corrección de fugas.....	115
3.3.3.	Instalación de aislante térmico en tuberías y accesorios.....	116
3.3.4.	Mantenimiento de trampas de vapor	119
3.3.5.	Ficha de control de mantenimiento.....	121
CONCLUSIONES		123
RECOMENDACIONES.....		125
BIBLIOGRAFÍA.....		129
APÉNDICES		131
ANEXO		133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Montaje de manómetro en tubería de vapor	29
2.	Trampa de flotador libre	33
3.	Trampa de flotador y palanca.....	34
4.	Trampa de balde abierta	36
5.	Trampa de vapor de balde invertido.....	38
6.	Trampa termodinámica	39
7.	Trampa termostática de presión balanceada	42
8.	Diagrama Ts de las tablas termodinámicas	56
9.	Costo anual de energía por fuga de vapor	87

TABLAS

I.	Selección de trampas y factores de seguridad.....	52
II.	Tabla termodinámica de vapor saturado. Tabla de presiones A. 5 del apéndice núm. 2.....	57
III.	Flujo de masa Kg/ h para retornos secos y cerrados	58
IV.	Cargas de condensado en Kg / h para ollas encamisadas	59
V.	Tamos de tubería sin aislamiento térmico.....	66
VI.	Datos calculados de pérdidas de calor por falta de aislante térmico	73
VII.	Pérdidas de calor en tuberías de acero desnudas y en superficies planas (Btu/hora-pie ² ° F).....	74

VIII.	Áreas, tamaños y capacidades de tubería estándar NPS todas las dimensiones y pesos son nominales	75
IX.	Medidas de accesorios sin aislamiento térmico	77
X.	Consumo promedio mensual de bunker en gls.....	80
XI.	Supervisión diaria de calderas	97
XII.	Incremento potencial de la eficiencia en los sistemas de generación y distribución de vapor	108
XIII.	Calendarización de actividades recomendadas para mantenimiento de las calderas.....	113
XIV.	Control de mantenimiento de trampas de vapor	121

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área superficial externa de tuberías
Bar	Bares
Hp	Caballos de potencia
CO₂	Dióxido de carbono
\$	Dólares
Efc	Eficiencia de la caldera
Hf	Entalpía de un fluido
Hg	Entalpía de un gas
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
GPH	Galones por hora
Hz	Hertz
H	Hora
J	Joules
Kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado (unidad de presión).
Kw	Kilowatt
Psi	Libras de presión por pulgada cuadrada (unidad de presión).
Lbm	Libras masa
Mv	Masa específica de vapor
Ma	Masa específica del agua
M	Metro

Q	Pérdida de energía en tubería desnuda
%	Porcentaje
Q	Quetzales
T	Temperatura
W	Trabajo
Btu	Unidad térmica británica (energía)

GLOSARIO

Aislamiento térmico	Es la capacidad de control de la transmisión de calor, cuando se desea que no exceda ciertos límites.
Caldera piro tubular	Dispositivo que genera vapor compuesto por un haz de tubos metálicos por cuyo interior pasan los gases calientes, los cuales están rodeados de agua.
Condensado	Es un fenómeno que ocurre cuando una sustancia pasa de una fase de vapor a una fase líquida.
Ciclos de vapor	Procesos cíclicos de una mezcla agua-vapor en máquinas térmicas como las turbinas o en sistemas como una central termoeléctrica. En las diferentes etapas del ciclo pueden intervenir diferentes tipos de procesos termodinámicos (isotérmicos, isobáricos, adiabáticos, entre otros).
Combustión	Reacción química que libera energía por medio de calor, a partir de la combinación entre las moléculas de un combustible y las de un comburente (o facilitador de la reacción), produciendo como subproductos cierta cantidad de desechos sólidos (como cenizas) y gaseosos (como CO, CO ₂ , SO ₂ , NO ₂ , entre otros).

Condensadores

Sistemas de intercambio de calor, como las calderas, pero para reconvertir el vapor en agua líquida (por condensación), una vez que el vapor ha cumplido su ciclo de trabajo en las turbinas de una central térmica. El vapor transfiere energía por medio de calor hacia el agua fría que circula por los tubos del intercambiador; al enfriarse se condensa y vuelve a las calderas para producir más vapor.

Mantenimiento

Es toda acción cuyo propósito es mantener a un equipo o sistema en sus condiciones normales de operación o de restitución de sus condiciones específicas de funcionamiento. La función mantenimiento debe expresarse como un sistema organizado que permita el mejor aprovechamiento del medio productivo.

Principios de la termodinámica

Leyes físicas que regulan los fenómenos térmicos y la utilización tecnológica de estos en máquinas térmicas como motores de combustión, calderas, turbinas de vapor, entre otros. La primera Ley de la Termodinámica corresponde a la conservación de la energía.

Poder calorífico

Medida de la capacidad específica de transferencia de energía por medio de calor al quemar un combustible fósil. Se expresa en unidades de energía por unidad de masa (Btu/lbm).

<i>Smart watch</i>	Realiza una monitorización continua de diversos parámetros del purgador sin asistencia humana.
<i>Steam Watch</i>	Es una tecnología emergente de purgadores o superpurgadores capaces de eliminar todo tipo de problemas en las instalaciones, como golpes de ariete térmicos, contrapresión, fugas de vapor entre otros, optimizando el rendimiento de la instalación.
Trampa de vapor	Es un equipo auxiliar en líneas o equipos de calentamiento con vapor, su función principal consiste en drenar el condensado que se forma de la condensación del vapor en sistemas de calentamiento, sin permitir la fuga de vapor, para así asegurar que la temperatura deseada del proceso no varíe.
Termodinámica	Es la ciencia de la ingeniería que está relacionada con el estudio de sistemas termodinámicos reales bajo la óptica de la física del calor.
Vapor	Sustancia en estado gaseoso, en los cuales los términos de vapor y gas son intercambiables.

RESUMEN

Las calderas o generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en las industrias de servicio. El mejor aprovechamiento de la energía se consigue cuando se selecciona correctamente el sistema de distribución de vapor y los accesorios que en este se encuentran, es el caso de las tuberías, aislamientos térmicos, válvulas reguladoras, entre otras.

El transporte de vapor se hace generalmente por tuberías desde la caldera hasta el punto de consumo, que es una clase de equipo térmico. La experiencia ha demostrado que la gran mayoría de calderas trabajan con eficiencias térmicas menores a la máxima alcanzable.

La pérdida de calor por falta de aislamiento térmico en tuberías es un tema de prioridad ya que no solo corre riesgo para la seguridad de los trabajadores, sino también una pérdida de calor que produce condensación de vapor, lo cual tiene que ser compensado con mayor consumo de combustible en la caldera.

Generalmente las pérdidas de vapor que existen en un sistema de tuberías se debe a que no existe un programa de mantenimiento adecuado. Cuidar el sistema de distribución de vapor da una de las mejores oportunidades de ahorrar. El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y el revisar que no existan fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión de capital muy grande. Es necesario dar entrenamiento completo y a la vez apropiado al equipo humano de mantenimiento siempre será una buena inversión y no un gasto.

Las propuestas de este trabajo son para mejorar la eficiencia del sistema de generación y distribución de vapor del hospital de IGSS de Escuintla. Generalmente, la mayor parte de las mejoras están después de la generación de vapor, esto es, en la operación y mantenimiento de los equipos y en el sistema de distribución. En estas áreas normalmente se tienen fugas y equipos funcionando inadecuadamente y, por lo tanto, es donde se tienen pérdidas de vapor, por lo que son estas áreas las que ofrecen oportunidades de evitarlas a través del uso de trampas de vapor, retorno de condensados, aislamiento y un buen plan de mantenimiento a esos equipos secundarios.

La propuesta consiste en corregir las fugas de vapor y cambiar el aislamiento deteriorado por uno adecuado. Como resultado se obtiene un ahorro de combustible en el sistema, ya que se alcanzarán nuevamente los niveles de disponibilidad de calor para el vapor, pudiendo funcionar en mejores condiciones los equipos accionados por este.

OBJETIVOS

General

Realizar un diagnóstico real y actual de la red de distribución de vapor y de las trampas de vapor, así como de las calderas instaladas en el hospital del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social en el departamento de Escuintla, y poder buscar alternativas de ahorro y que se puedan corregir las causas de los problemas encontrados.

Específicos

1. Describir la situación actual del equipo utilizado para la distribución de vapor hacia los servicios.
2. Describir el funcionamiento y el mantenimiento de una trampa de vapor.
3. Determinar el mantenimiento de las tuberías que conducen vapor y de las calderas.
4. Mejorar el sistema de trampas de vapor desde la caldera hasta los servicios.
5. Describir el concepto de mantenimiento preventivo y correctivo aplicado a la red de tubería y a las trampas de vapor.
6. Reducir las pérdidas de energía en la red de vapor.

7. Demostrar que existen soluciones de ahorro en el hospital.

INTRODUCCIÓN

El vapor es un elemento energético necesario en todo hospital ya que es indispensable para la preparación de los alimentos del personal que se encuentra en él, y para el funcionamiento de determinados equipos.

Durante la inspección realizada a la red de la tubería de distribución de vapor y sus accesorios se vió la necesidad de analizarla, y tomar en cuenta una mejora y su mantenimiento adecuado para evitar pérdidas a través de ella.

También es importante la inspección y mantenimiento de las trampas de vapor adecuadas y las calderas, para evitar gastos innecesarios, como combustibles y otros aspectos que pueden llegar a dañar la tubería.

El primer problema encontrado lo constituye la ausencia de aislante térmico en ciertos tramos de la tubería y una mala distribución de las trampas de vapor, ya que debido a ello existen problemas de condensado y estos producen grandes pérdidas en combustibles, vapor y otros.

Los equipos e instalaciones del hospital requieren una buena supervisión y un mantenimiento adecuado a las necesidades del mismo, para que puedan estar en óptimas condiciones en el momento de su uso.

El presente estudio trata de aplicar los conocimientos adquiridos en los cursos de termodinámica, plantas de vapor e instalaciones mecánicas, para demostrar no solo con las inspecciones realizadas sino con cálculos matemáticos los problemas de fugas de vapor, y así corregir las deficiencias en

el sistema y de estos resultados hacer conciencia al personal de mantenimiento, en la reducción de los problemas que hay en estas instalaciones.

1. GENERALIDADES DEL HOSPITAL

1.1. Antecedentes del hospital

El hospital del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS) ubicado en el departamento de Escuintla, inició sus labores en 1948; inicialmente funcionaba en una casa particular en donde se brindaba servicio de consulta externa y emergencias. Se trabajaba conjuntamente con el Hospital Nacional en donde había una sala anexa para afiliados que ameritaban hospitalización.

Fue en 1962, que el IGSS inauguró su propio edificio, en donde a la fecha se encuentra funcionando, siendo su ubicación en la avenida Centro América, zona 3 de Escuintla.

1.2. Descripción de los equipos que generan vapor

Las calderas o generadores de tipo pirotubular de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Hasta principios del siglo XIX, se usaron calderas para teñir ropas, producir vapor para limpieza, entre otros, hasta que se creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para intentar mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse esta dejaba de producir trabajo útil.

El IGSS de Escuintla cuenta con dos calderas pirotubulares que fueron instaladas en 1980, tiene un funcionamiento de combustión a base de bunker.

Las calderas que actualmente están en funcionamiento en el hospital del IGSS de Escuintla tienen las siguientes características:

- Tipo paquete automática
- Marca Cleaver Brooks
- Modelo CB 600 – 125
- Serie L – 68950
- Presión de trabajo 100 psi
- Presión máxima de trabajo 150 psi
- Entrada 5 230 000 Btu / hora
- Gasto 35 GPH de bunker
- 230 voltios energía de alimentación trifásica
- Voltaje de 230 voltios
- Fase 60 Hz
- Capacidad mínima de circuito 33,5 amperios
- Capacidad máxima de protección del circuito 118 amperios
- Potencia de motor compresor 5 HP
- Potencia de motor soplador 5 HP
- Potencia del calentador de bunker 5 Kw
- Motor bomba de aceite voltaje 230 voltios de tres fases, dos amperios

Las calderas de vapor, básicamente constan de 2 partes principales:

- Cámara de agua

Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cms por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores. Con

esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.

Según la razón que existe entre la capacidad de la cámara de agua y la superficie de calefacción, se distinguen calderas de gran volumen, mediano y pequeño volumen de agua.

Las calderas de gran volumen de agua son las más sencillas y de construcción antigua. Se componen de uno a dos cilindros unidos entre sí. Las calderas de mediano volumen de agua están provistas de varios tubos de humo y también de algunos tubos de agua, con lo cual aumenta la superficie de calefacción, sin aumentar el volumen total del agua.

Las calderas de pequeño volumen de agua están formadas por numerosos tubos de agua de pequeño diámetro, con los cuales se aumenta considerablemente la superficie de calefacción.

Como características importantes se puede considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy lentas en el encendido, y debido a su reducida superficie producen poco vapor. Son muy peligrosas en caso de explosión y poco económicas.

Por otro lado, la caldera de pequeño volumen de agua, por su gran superficie de calefacción, es muy rápida en la producción de vapor, tienen muy buen rendimiento y producen grandes cantidades de vapor. Debido a esto requieren especial cuidado en la alimentación del agua y regulación del fuego, pues de faltarles alimentación, pueden secarse y quemarse en breves minutos.

- Cámara de vapor

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión.

Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

En estas calderas los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales están rodeados de agua. Generalmente tiene un hogar integral, llamado caja de fuego, limitado por superficies enfriadas por agua.

La caldera pirotubular fija con tubos de retornos horizontales (HRT) es una combinación de parrilla, altar refractario, puertas de carga y cenicero y cámara de combustión. Las superficies interiores de las paredes del hogar están revestidas de refractario. Los gases calientes pasan por encima del altar y lamen todo el fondo de la caldera, volviendo a la parte frontal de esta por el interior de los tubos. Finalmente los productos de la combustión pasan a la chimenea.

Estas calderas con tubos de retorno se utilizan en pequeñas centrales industriales debido a sus pequeñas capacidades de producción de vapor, presiones limitadas y baja velocidad de producción de calor.

La caldera de vapor pirotubular está concebida especialmente para aprovechamiento de gases de recuperación y presenta las siguientes características:

- El cuerpo de la caldera está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor.
- La circulación de gases se realiza desde una cámara frontal dotada de brida de adaptación, hasta la zona posterior donde termina su recorrido en otra cámara de salida de humos.
- El acceso al cuerpo por el lado de los gases, se realiza mediante puertas atornilladas y abisagradas en la cámara frontal y posterior de entrada y salida de gases, equipadas con bridas de conexión. En cuanto al acceso al lado del agua se efectúa a través de la boca del hombre, no siempre situada en la bisectriz inferior y placa posterior del cuerpo y con gran diámetro en la bisectriz inferior y placa posterior para facilitar la limpieza de posible acumulación de lodos.
- El conjunto completo de sus accesorios, se asienta sobre un soporte deslizante y bancada de sólida y firme construcción, suministrándose como unidad compacta y dispuesta a entrar en funcionamiento tras realizar las conexiones e instalación.

Comúnmente las calderas de los hoteles trabajan desde 50 psi hasta por arriba de las 100 psi (con la lavandería trabajando). Aún cuando se depende de una gran variedad de factores, las calderas bien reparadas y con un mantenimiento apropiado operan en promedio con eficiencias de caldera entre 70 y 85 por ciento. Estos niveles de eficiencia pueden ser mejorados entre 2 a 5 por ciento si la caldera está bien afinada y con la aplicación de equipo auxiliar, siempre y cuando económicamente esto se justifique.

Cuando el sistema de calderas es demasiado viejo para ser reacondicionado se debe reemplazar con un sistema de calderas más eficiente, tal que ofrezca un incremento en las áreas de intercambio de calor y que tenga controles de combustible, de excesos de aire y controles de las condiciones de carga.

Substancialmente las pérdidas de energía en una caldera son causadas por una combustión incompleta, cuyo calor de desperdicio generado literalmente se va "por la chimenea", y por el calor perdido en la superficie exterior de esta. Estas dos condiciones juntas, pueden alcanzar hasta un 30 % de pérdida del combustible de suministro y por ende la eficiencia se ve disminuida. Las tres estrategias para minimizar las pérdidas de calor en los gases de combustión son:

- Minimizar el exceso de aire en la combustión.
- Mantener limpias las superficies de intercambio de calor.
- Cuando se justifique, agregar un equipo de recuperación de calor de los gases de combustión. Típicamente, la eficiencia de una caldera se incrementa en un 1,0 por ciento por cada 15 por ciento que se reduce el exceso de aire o por la reducción de 1,3 por ciento de oxígeno o por una reducción de 65,52 °F en la temperatura de los gases de combustión.

1.3. Descripción de los equipos que consumen vapor

El vapor es la mejor forma de transferir calor a temperatura constante. En el hospital del IGSS de Escuintla el uso del vapor es específicamente para lo siguiente:

- Lavandería: consta de dos lavadoras, dos secadoras, una plancha activa y una plancha inactiva.
 - Datos plancha activa:
 - Marca: JAX
 - Modelo: 222
 - Máxima presión de trabajo: 125 psi a 650 °F
 - Datos plancha inactiva
 - Marca: Flatwork
 - Modelo: SA16-100-F
 - Operación: 3 fases
 - Presión máxima de trabajo: 125 psi
 - Datos secadoras
 - Marca: Huebsch
 - Modelo: 37 csh
 - Máxima presión de vapor: 125 psi
 - Operación: 3 fases
- Cocina: los equipos para cocinar, tales como las marmitas, pueden necesitar arriba de las 25 psig de vapor. Esterilizadores de loza, así como la preparación de la comida y el lavado utilizan vapor de bajo nivel.
- Central de equipos: es un departamento donde se esteriliza todo el equipo médico y quirúrgico, aquí funcionan tres autoclaves, en donde el vapor es importante para estos equipos.

1.4. Descripción de la tubería de distribución de vapor

Las tuberías del sistema de vapor del hospital del IGSS de Escuintla, se encuentran en regular estado, ya que carece de mantenimiento preventivo y correctivo, la distribución de vapor se realiza a través de un manifold, y los servicios de vapor están de la siguiente manera:

- Cocina
- Lavandería
- Central de equipos
- Calentamiento de agua

Al observar el sistema completo de estos cuatro servicios, se detectaron las siguientes fallas:

- Nueve fugas de vapor en el sistema.
- Parte de la tubería que transporta el vapor no tiene aislamiento térmico.
- El aislamiento térmico que cubre parte de la tubería que transporta el vapor, se encuentra dañado.

Las tuberías deben estar correctamente aisladas con el fin de prever la pérdida de calor, no obstante parte de calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua (agua caliente) y a depositarse en el fondo de la misma. Si a este condensado se le permite mantenerse en la tubería el ocasionará tanto pérdida de calor como bloqueo con sus correspondientes consecuencias.

1.5. Antecedentes del mantenimiento de la red de vapor y de sus equipos

Mantenimiento de las calderas

- Mantenimiento preventivo: consiste en la limpieza del filtro de bunker, revisión de los controles de nivel, sistema de combustible, bomba de agua y el tratamiento del agua, según las recomendaciones del analista, el tratamiento del agua de la caldera, la purga, se hace tres veces al día durante 5 a 8 segundos en las correspondientes llaves. Por ejemplo:
 - Llave general de purga en la salida de la caldera
 - Columna del McDonald 8 segundos
 - Columna del McDonald Miller 8 segundos (auxiliar)
- El mantenimiento correctivo consiste de la forma siguiente:

Se abre la caldera dos días después del paro de la misma. Se cambian empaques, boquillas tubos de fuego, se aplica cemento refractario en las puertas, en caso que esté rajado, se limpia el lado de agua y el lado de fuego, se limpia el quemador y la boquilla de la caldera donde se descarboniza. El servicio de mantenimiento correctivo que se le hace a la caldera dura 4 días aproximadamente y es cada 6 meses.

- Mantenimiento de la red de vapor

La red de vapor carece de mantenimiento preventivo, durante el tiempo que la caldera está en operación, las fugas que surgen en la tubería y en sus accesorios son corregidas y los accesorios en mal estado se cambian aprovechando el paro de la caldera para su mantenimiento correctivo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Vapor

Para la industria se está consciente que la solución apropiada a los distintos problemas en planta y el aprovechamiento máximo de la energía no radica solo en la compra de un equipo, o bien en realizar modificaciones o instalaciones nuevas en planta, sino se necesita el vapor que es tan importante en la industria, por otra parte, las labores cotidianas de mantenimiento en cualquier empresa, obliga a responder de forma inmediata a dar solución a los problemas.

Muchas veces esta solución no es la más acertada, debido a múltiples razones entre el desconocimiento del sistema. Porsupuesto, el mejor aprovechamiento de la energía se consigue cuando se selecciona correctamente el sistema de distribución de vapor y los accesorios que en este se encuentran, es el caso de las tuberías, aislamientos térmicos, válvulas reguladoras, entre otras. Cuando se confina el vapor emitido por una sustancia a cualquier temperatura, ejerce una presión conocida como presión de vapor.

2.1.1. Definición y características del vapor

Sustancia en estado gaseoso, los términos de vapor y gas son intercambiables, aunque en la práctica se emplea la palabra “vapor” para referirse al de una sustancia que normalmente se encuentra en estado líquido o sólido, como por ejemplo agua, benceno o yodo.

Se ha propuesto restringir el uso del término a las sustancias gaseosas que se encuentren por debajo de su punto crítico (la máxima temperatura a la que se puede licuar aplicando una presión suficiente), y hablar de gas por encima de la temperatura crítica, cuando es imposible que la sustancia exista en estado líquido o sólido. Esencialmente, el uso de los términos es arbitrario, porque todas las sustancias gaseosas tienen un comportamiento similar por debajo y por encima del punto crítico.

Al aumentar la temperatura de la sustancia, la presión de vapor se eleva, como resultado de una mayor evaporación. Cuando se calienta un líquido hasta la temperatura en la que la presión de vapor se hace igual a la presión total que existe sobre el líquido, se produce la ebullición.

En el punto de ebullición, al que corresponde una única presión para cada temperatura, el vapor en equilibrio con el líquido se conoce como vapor saturado; es el caso, por ejemplo, del vapor de agua a 212 °F y a una presión de 1 atmósfera. El vapor a una temperatura superior al punto de ebullición se denomina vapor sobrecalentado, y se condensa parcialmente si se disminuye la temperatura a presión constante.

A temperaturas y presiones normales, la presión de vapor de los sólidos es pequeña y suele ser despreciable. Sin embargo, la presencia de vapor de agua sobre el hielo demuestra su existencia. Incluso en los metales, la presión de vapor puede ser importante a temperatura elevada y presión reducida.

2.1.2. Clasificación del vapor

El uso de vapor como fluido termodinámico se justifica por gran variedad de propiedades, el vapor se clasifica en vapor saturado y vapor sobrecalentado.

El vapor tiene la característica de transportar gran cantidad de energía por unidad de masa debido al cambio de fase. En efecto, el calor latente de cambio de fase es del orden de 2,4951 kJ / kg, El primer aspecto que se toma en cuenta para la distribución de vapor es la presión a la cual se va a distribuir, para la máxima presión de distribución se debe considerar factores tales como: máxima presión de trabajo, pérdidas de calor por radiación y por convección y la distancia de los equipos de consumo.

La presión de trabajo queda determinada por los requerimientos de los diferentes equipos, aunque para equipos hospitalarios la distribución de vapor se hace de la siguiente manera:

- 100 psig para alimentación de los aparatos de lavandería
- 50 psig para alimentación de los equipos de esterilizados
- 10 a 20 psig para alimentación de los aparatos de cocina

El vapor generado por las calderas debe ser recibido por el manifold de donde salen los alimentadores de alta presión y de abastecimiento a las estaciones reductoras, en hospitales por razones de seguridad, operación y mantenimiento es conveniente que las estaciones reductoras de presión se localicen en la propia sala de calderas.

2.1.3. Generadores de vapor y su mantenimiento

Los equipos generadores de vapor o dispositivo utilizado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmosférica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor. Los generadores de vapor se clasifican de la siguiente manera:

- Calderas sencillas

Estas calderas se componen de un cilindro de planchas de acero con fondos combados. En la parte central superior se instala una cúpula cilíndrica llamada domo, donde se encuentra el vapor más seco de la caldera, que se conduce por tuberías a las máquinas. Las planchas de las calderas, así como los fondos y el domo se unen por remachadura.

Esta caldera se monta en una mampostería de anillos refractarios, y allí se instalan el fogón cenicero y conducto de humo. En el hogar, situado en la parte inferior de la caldera, se encuentran las parrillas de hierro fundido y al fondo un muro de ladrillos refractarios, llamado altar, el cual impide que se caiga el carbón y eleva las llamas acercándolas a la caldera.

- Calderas con hervidores

Este tipo de calderas surgieron bajo la necesidad de producir mayor cantidad de vapor. Los hervidores son unos tubos que se montan bajo el cuerpo cilíndrico principal, de unos 12 metros de largo por 1,50 metros de diámetro; estos hervidores están unidos a este cilindro por medio de varios tubos adecuados. Los gases del hogar calientan los hervidores al ir hacia adelante por ambos lados del cuerpo cilíndrico superior, tal como en la caldera anteriormente mencionada.

Las ventajas de estas calderas, en comparación con las otras, son por la mayor superficie de calefacción o de caldeo, sin aumento de volumen de agua, lo que aumenta la producción de vapor. Su instalación, construcción y reparación es sencilla. Los hervidores pueden cambiarse o repararse una vez dañados.

La diferencia de dilatación entre la caldera y los hervidores pueden provocar escape de vapor en los flanshes de los tubos de unión y, a veces, la ruptura. Esta es una de las desventajas de esta caldera.

- Calderas de hogar interior

Estas calderas están formadas por un cuerpo cilíndrico principal de fondos planos o convexos, conteniendo en su interior uno o dos grandes tubos sumergidos en agua, en cuya parte anterior se instala el hogar. El montaje se hace en mampostería, sobre soportes de hierro fundido, dejando un canal para que los humos calienten la caldera por el interior en su recorrido hacia atrás, donde se conducen por otro canal a la chimenea.

Su instalación se puede hacer por medio de dos conductos en la parte baja, para que los humos efectúen un triple recorrido hacia adelante por los tubos hogares, atrás por un conducto lateral, adelante por el segundo conducto y finalmente a la chimenea. Los tubos hogares se construyen generalmente de plantas onduladas, para aumentar la superficie de calefacción y resistencia al aplastamiento.

- Caldera semitubular

Esta caldera se compone de un cilindro mayor de fondos planos, que lleva a lo largo un haz de tubos de 3" a 4" de diámetro. Los tubos se colocan expandidos en los fondos de la caldera, mediante herramientas especiales; se sitúan diagonalmente para facilitar su limpieza interior. Más arriba de los tubos se colocan algunos pernos o tirantes para impedir la deformación y ruptura de los fondos, por las continuas deformaciones debido a presión del vapor, que en la zona de los tubos estos sirven de tirantes.

Para la instalación de la caldera se hace una base firme de concreto, de acuerdo al peso de ella y el agua que contiene. Sobre la base se coloca la mampostería de ladrillos refractarios ubicados convenientemente el hogar y conductos de humos. La caldera misma se mantiene suspendida en marcos de hierro T, o bien se monta sobre soporte de hierro fundido. Estas calderas tienen mayor superficie de calefacción.

- Caldera locomotora

Esta caldera se compone de su hogar rectangular, llamada caja de fuego, seguido de un haz tubular que termina en la caja de humo. El nivel del agua queda sobre el ciclo del hogar, de tal manera que este y los tubos quedan siempre bañados de agua. Para evitar las deformaciones de las paredes planas del hogar, se dispone de una serie de tirantes, que se colocan atornillados y remachados o soldados a ambas planchas.

Los tubos se fijan por expandidores a las dos placas tubulares y se pueden extraer por la caja de humo, cuando sea necesario reemplazarlos. Todas las calderas locomotoras se hacen de chimenea muy corta, las que producen pequeños tirajes naturales.

- Calderas de Galloway

Reciben este nombre las calderas de uno o dos tubos hogares, como la Cornualles, provistas de tubos Galloway. Estos tubos son cónicos y se colocan inclinados en distintos sentidos, de tal manera que atraviesan el tubo hogar. Los tubos Galloway reciben el calor de los gases por su superficie exterior, aumentando la superficie total de calefacción de la caldera.

- Caldera locomóviles

Este nombre lo recibe el conjunto de caldera y máquina a vapor que se emplea frecuentemente en faenas agrícolas. La caldera puede ser de hogar rectangular, como la locomotora, o cilíndrico. La máquina se monta sobre la caldera, y puede ser de uno o dos cilindros. Todo el conjunto se monta sobre ruedas y mazos para el traslado a tiro. Estas calderas tienen también tiraje forzado al igual forma que las locomotoras. Deberán estar provistas, además, de llave de extracción de fondo, tapón fusible, válvula de seguridad, manómetro, entre otros, accesorios indispensables para el estricto control y seguridad de la caldera.

- Calderas marinas

Los buques a vapor emplean calderas de tubos de humo y de tubos de agua. Entre las primeras se emplean frecuentemente las llamadas "calderas de llama de retorno" o "calderas suecas". Este tipo de calderas consta de un cilindro exterior de 6,56 a 14,76 pies de diámetro y de una longitud igual o ligeramente menor. En la parte inferior van dos o tres y hasta cuatro tubos hogares, que terminan en la caja de fuego, rodeado totalmente de agua.

Los gases de la combustión se juntan en la caja de fuego, donde terminan de arder y retornan, hacia atrás por los tubos de humo, situados más arriba de los hogares. Finalmente los gases quemados pasan a la caja de humo y se dirigen a la chimenea.

- Semifijas

En algunas plantas eléctricas, aserraderos, molinos, entre otros, se emplea el conjunto de caldera y máquina vapor que recibe el nombre de "semifija". La caldera se compone de un cilindro mayor, donde se introduce el conjunto de hogar cilíndrico y haz de tubos, apernado y empaquetados en los fondos planos del cilindro exterior. El hogar y el haz de tubos quedan descentrados hacia abajo, para dejar mayor volumen a la cámara de vapor. Todo este conjunto se puede extraer hacia el lado del hogar, para efectuar reparaciones o limpieza.

El emparrillado descansa al fondo en un soporte angular, llamado "puente de fuego" y tiene también varios soportes transversales ajustables. El hogar se cierra por el frente por una placa de fundición, revestida interiormente de material refractario, donde va también la puerta del hogar y cenicero. El vapor sale por el domo de la caldera, pasa por el serpentín recalentador, se recalienta y sigue a la máquina.

- Calderas combinadas

Las construidas con más frecuencia son las calderas de hogar interior y semitubular. En la parte inferior hay una caldera de dos o tres tubos hogares o una Galloway, combinada con una semi tubular que se sitúa más arriba. Ambas calderas tienen unidas sus cámaras de agua y de vapor, por tubos verticales.

Los hogares se encuentran en la caldera inferior. Los gases quemados se dirigen hacia adelante, suben y atraviesan los tubos de la caldera superior, rodean después a esta caldera por la parte exterior, bajan y rodean a la inferior, pasando finalmente a la chimenea.

El agua de alimentación se entrega a la caldera superior y una vez conseguido el nivel normal de esta, rebalsa por el tubo vertical interior a la cámara de agua de la cámara inferior. El vapor sube por el tubo vertical exterior, se junta con el que produce la caldera superior y del domo sale al consumo.

- Calderas acuotubulares

Las calderas acuotubulares (el agua está dentro de los tubos) eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo.

En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinados para que el vapor a mayor temperatura, al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido.

La producción del vapor de agua depende de la correspondencia que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso, que son la presión y la temperatura.

A cualquier temperatura, por baja que esta sea, se puede vaporizar agua, con tal que se disminuya convenientemente la presión a que se encuentre sometido dicho líquido, y también a cualquier presión puede ser vaporizada el agua, con tal que se aumente convenientemente su temperatura.

- Inspección y mantenimiento

Con un programa de mantenimiento bien planteado, se evita interrupciones innecesarias o reparaciones costosas. Para ello debe establecerse una inspección, junto con una lista de procedimientos. Es recomendable contar con un registro de las actividades de las calderas para un mantenimiento diario, semanal, mensual o anual.

- Inspección

Se debe permitir solamente al personal autorizado el ingreso a la sala de calderas, se requiere de inspección periódica y mantenimiento de todos los dispositivos de control que entran en acción cuando el agua alcanza un nivel bajo.

Verificar frecuentemente las seguridades por bajo nivel de agua, falla de llama, y piloto principal y la temperatura de los gases de combustión, cerrando la llave de alimentación de agua cuando la caldera está funcionando, permitiendo que descienda el nivel del agua a un régimen normal, entonces se debe verificar frecuentemente.

- Mantenimiento del quemador de aceite

El quemador debe ser inspeccionado para ver si han ocurrido daños debido a una combustión mal ajustada. El sello entre la cubierta del quemador y el recubrimiento del refractario es importante y se debe inspeccionar periódicamente y hacer las reparaciones necesarias.

- Mantenimiento del quemador de gas

El quemador de gas requiere poco mantenimiento después de examinar los componentes del quemador para verificar si hay indicios de daños debidos a una combustión mal ajustada. Verificar periódicamente que el sello entre el extremo del quemador y el refractario del horno esté en buenas condiciones. Examinar los electrodos para verificar que no tengan picadura o depósitos de combustión.

- Mantenimiento de la válvula de gas motorizada

Esta cuenta con el mecanismo de operación sumergido en aceite y se diseña para que sea perfectamente hermética y no requiere de mucho mantenimiento. Mantener las partes externas limpias, especialmente con el vástago entre el operador y la válvula.

El collarín es de tipo anillo por lo que un vástago mordido, rayado o dañado, puede resultar en goteo. Si se observa aceite en la base del operador o si el goteo ocurre, habría que reemplazar los anillos que están defectuosos.

- Mantenimiento del resorte de la leva

Hay que inspeccionarla frecuentemente para verificar si existe desgaste, ralladuras o distorsión, si alguna de estas está presente es preciso reemplazar el resorte inmediatamente para evitar la posibilidad de quebrarse durante el uso.

- Mantenimiento del impulsor

La colocación de las aletas del impulsor en relación a la cubierta de la admisión de aire, tiene suma importancia para lograr la potencia de rendimiento del impulsor.

- Mantenimiento de las válvulas de seguridad y escape

Estas válvulas y la tubería de descargue deben ser instaladas de conformidad con todos los códigos aplicables y deben estar apoyados para evitar que exista tensión sobre la válvula.

- Bomba de aire y su sistema de lubricación

La vida media de la bomba, depende de una provisión adecuada de la limpieza y frescura del aceite lubricante. El nivel del aceite en el tanque receptor de aire-aceite, debe ser observado atentamente. La falta de aceite dañará la bomba.

El nivel del aceite lubricante debe ser visible en todo momento, no hay un nivel específico requerido con tal de que se pueda ver el aceite.

- Mantenimiento del refractario

Toda caldera es expedida con un refractario completamente instalado, este consiste en la cabeza delantera, la puerta interior y el recubrimiento del hogar. El mantenimiento normal exige poco tiempo o gasto pero prolongada vida útil.

2.1.4. Elementos de los generadores de vapor y su mantenimiento

- Cámara de agua

Comprende el cuerpo de la caldera herméticamente sellado que aloja el agua necesaria para la generación de vapor a un nivel determinado. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 0,492 pies por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores.

Con esto a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.

- Cámara de vapor

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión.

Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

- Registros

Son agujeros en forma ovalada que permiten realizar inspecciones y limpieza del lado del agua.

- Tortugas

Son las tapaderas de los registros que permiten por medio de empaques, un sellado hermético del lado del agua.

- Hogar

Es el lugar donde se origina la combustión, irradiando luz y calor a las superficies de calefacción, para ser transmitido a la cámara de agua.

- Tubos de fuego

Conocidos también como tubos de humo, permiten la circulación de los gases de combustión en el lado de fuego, constituyen parte del área de calefacción.

- Chimenea

Permite la evacuación de los gases de combustión hacia la atmósfera, por medio del tiro, el tiro provee la presión diferencial en el hogar para asegurar el flujo de gases se divide en tiro inducido y tiro natural.

El tiro natural se produce por una chimenea por la que la caldera evacúa los gases. El aire frío admitido por el hogar (por medio de las compuertas de entrada) empuja para desplazar los gases calientes más ligeros del hogar (por diferencia de densidad así los gases calientes suben como los globos por efecto chimenea produciendo el tiro natural).

El tiro inducido se produce por medio de ventiladores, aspirando o forzando los gases hacia la chimenea para su descarga a la atmósfera.

- Espejos

Sirven de soporte para las bocas de los tubos de fuego, se ubican en la parte anterior y posterior del cuerpo de la caldera.

- Deflectores

Conocidos también como separadores de calor o lámparas, permiten el cambio de dirección de los gases en la cámara de combustión conduciéndolos directamente a la chimenea.

- Pasos

Cambio de dirección que sufren los gases de combustión dentro de la cámara, pudiendo ser las calderas normalmente de uno, dos, tres y cuatro pasos.

- Puertas

Permiten el libre acceso al lado de fuego para su inspección y limpieza, además de permitir un sellado hermético, por medio de empaques, con el cuerpo de la caldera y poder evitar fugas de los gases de combustión.

- Mirillas

Por medio de estas se visualiza fácilmente desde el exterior, la combustión durante el funcionamiento de la caldera.

- Quemador

Conjunto de piezas que permiten realizar la combustión, entre estas se tienen:

- Boquillas
- Porta boquillas
- Difusor
- Cañón
- Electrodo de ignición
- Porta electrodo de ignición
- Cables de ignición
- Transformador de ignición
- Bomba de combustible

- Válvulas

Permiten el paso del bunker desde el precalentador hacia la cámara de combustión. Asimismo, a las válvulas que dejan pasar el gas propano para el arranque de la caldera.

- Válvula McDonald

Su función es controlar el nivel de agua que entra a la caldera para que luego esta se convierta en vapor, en esta se instalan las ampollas o *microswitch* que tiene como función:

- El suministro automático de agua en operación normal para reemplazar el agua que se ha vuelto vapor.

- Detener la caldera cuando esta haya alcanzado el límite de seguridad del nivel de agua de alimentación.
- Motor de arranque

El motor de arranque tiene como función proporcionar energía mecánica al sistema de arranque de la caldera. Tiene como sistema de enfriamiento un depósito de aceite, además del depósito de aceite también tiene filtros para evitar el paso de partículas que pueden dañar el sistema de enfriamiento.

- Motor soplador

Tiene como función dar aire a la llama para que esta encienda.

- Programador

El programador es el cerebro de la caldera, tiene como función coordinar el arranque y la puesta en marcha de la caldera, además, tiene como función el verificar el buen funcionamiento de la caldera y de soportar algún fallo en un determinado momento.

- Fococelda

Está ubicada en forma direccional hacia la cámara de combustión, en donde se origina la llama, se encarga de detectar la misma, en caso contrario interrumpe el funcionamiento de la caldera haciendo sonar la alarma indicando falla de llama.

- Válvulas de seguridad
- Están colocadas en la salida de vapor de la caldera hacia la tubería, tiene como función dispararse si existiera un exceso de presión de vapor, esta está calibrada a Manifold o distribuidor de vapor.
- Manifold o distribuidor de vapor

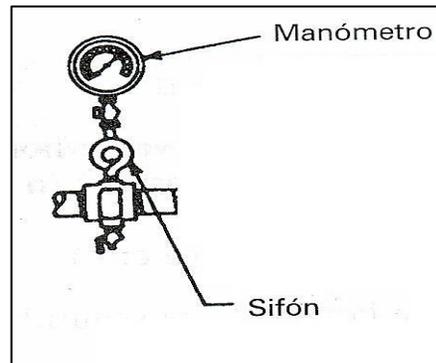
Este dispositivo es donde se colecta el vapor generado por la caldera, aquí es donde se divide el vapor que se dirige hacia distintos servicios del hospital:

- Cocina
 - Lavandería
 - Tanque de agua caliente
 - Central de esterilización
- Instrumentos de medición
 - Manómetros

Permiten tomar lecturas de la presión del agua de alimentación, combustible y vapor en la caldera.

Los manómetros deben ser conectados a un sifón para evitar que se dañe el mecanismo que permite el movimiento de la aguja indicadora por la acción directa del fluido en donde mide la presión (ver figura 1).

Figura 1. **Montaje de manómetro en tubería de vapor**



Fuente: KOHAN, Anthony L. *Manual de calderas*. p. 87.

- Termómetros

Permiten tomar lecturas de la temperatura del tanque de condensado, combustible y gases en la chimenea. Pueden ser en escalas de grados Centígrados o Fahrenheit.

- Controles de presión de vapor

- Control de límite de operación

Detiene la operación del quemador cuando la presión ha alcanzado la presión de trabajo, la que se coloca en la escala principal, y encender el quemador cuando la presión baja hasta el punto donde se ha determinado el diferencial.

- Control de presión proporcional (modulante)

Es un dispositivo de control proporcional de posición. Difiere de los anteriores por el hecho que el mecanismo eléctrico es un potenciómetro variable en lugar de un interruptor.

Se interconecta con el motor modulador para la regulación de la cantidad de aire combustible, cuando el interruptor manual-automático está en automático.

- Programador

Dispositivo eléctrico – mecánico - digital que controla la secuencia automática de operación de la caldera.

- Control límite de presión de vapor o control e presión de seguridad

Dispositivo electromecánico para controlar la presión de vapor de la caldera. Responde a un cambio de presión y a través de un acoplamiento mecánico actúa un interruptor manteniendo la presión dentro del límite establecido.

El dispositivo de control de presión que bloquea totalmente la operación de la caldera cuando la presión excede de la presión normal de operación; por esta razón es llamado también control límite, preferiblemente del tipo de *reset* manual.

- Control de límite de presión para fuego bajo y para fuego alto

El control de límite para fuego bajo es seteado en la escala principal a una presión de 25 o 30 psi con la intención de arrancar la caldera en fuego bajo.

El control de límite para fuego alto, tiene las mismas características físicas que el de fuego bajo, pero se setea a una presión de 20 o 25 % menor a la presión de operación para que la caldera pare a fuego bajo.

2.2. Trampas de vapor

Las trampas de vapor son de mucha importancia, uno de sus atributos es el de economizar grandes cantidades del combustible requerido para calentar las grandes cantidades de agua, lo que permite un ahorro en los costos de operación.

Tan pronto como el vapor deja la caldera empieza a ceder parte de su energía a cualquier superficie de menor temperatura.

Al hacer esto, parte del vapor se condensa convirtiéndose en agua, prácticamente a la misma temperatura.

La combinación de agua y vapor hace que el flujo de calor sea menor ya que el coeficiente de transferencia de calor del agua es menor que el del vapor.

2.2.1. Definición de trampas de vapor

Una trampa de vapor es un equipo auxiliar en líneas o equipos de calentamiento con vapor, su función principal consiste en drenar el condensado que se forma de la condensación del vapor en sistemas de calentamiento, sin

permitir la fuga de vapor, para así asegurar que la temperatura deseada del proceso no varíe. Adicionalmente, una buena trampa debe ser capaz de descargar el aire y gases no condensables atrapados en el sistema.

2.2.2. Clases de trampas de vapor

Luego de tener clara la definición y función de trampa de vapor, se analizarán los diferentes grupos existentes: mecánico, termodinámico y termostático.

- **Mecánico**

Las trampas de vapor del tipo mecánico trabajan con la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. Estas trampas trabajan mediante un flotador, el cual hace de válvula, en la que, cuando se acumula condensado esta se abre descargándolo. Cuando está cerrada, comienza nuevamente el ciclo llenándose de vapor para luego comenzar nuevamente.

Entre las trampas de este tipo se tiene:

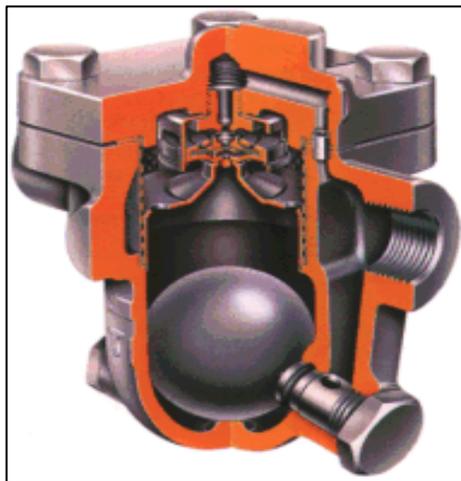
- **Trampa de flotador libre**

Este tipo de trampa consta de una esfera hueca (flotador), en la que al ingresar el flujo de vapor, esta se mantiene apoyada en un asiento. Cuando el vapor comienza a condensar, el nivel de agua hace subir a la esfera dejando libre el orificio de drenaje.

Una vez que el condensado disminuye, la esfera, que hace de válvula, retorna paulatinamente a su posición (en el asiento), tapando el orificio de salida causando así la mínima pérdida de vapor. Luego, el nuevo ciclo hará lo mismo, así que entonces el drenado es continuo.

En la figura 2 se aprecia una trampa de vapor flotador libre

Figura 2. **Trampa de flotador libre**

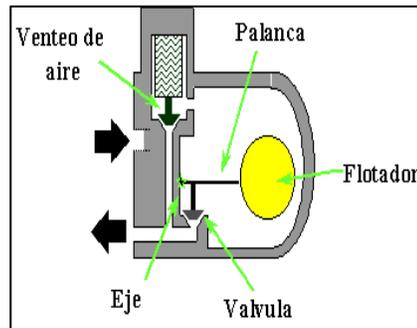


Fuente: *Steam and Condensate, Hot Water, Air Vent Operation.*
www.armstrong-intl.com/products/traps. Consulta: septiembre de 2014.

Debido a que estas trampas no poseen partes mecánicas es muy poco probable que falle, lo que dice que el mantenimiento es prácticamente cero.

De las figuras se puede apreciar que la esfera flotadora es bastante grande en comparación con el orificio de drenaje, lo cual hace que sea difícil tener un buen asiento.

Figura 3. **Trampa de flotador y palanca**



Fuente: *Trampas de vapor*. www.steamcontrol.com/wp/documentos/traps%20para%vapor.pdf. Consulta: septiembre de 2014.

Este es un tipo muy parecido al mencionado anteriormente, donde entra el vapor al cuerpo de la trampa y al comenzar a condensar hace subir una esfera flotante; la diferencia con el anterior es que ahora la esfera está conectada a una palanca, la que a su vez está conectada con la válvula de salida o drenaje, cuando el nivel del condensado empieza a subir también lo hace la válvula de salida, la que gradualmente descargará el condensado.

Al igual que la trampa de flotador libre esta mantiene una descarga continua del condensado. Una vez terminada la descarga, el flotador baja y nuevamente se acomoda sobre un asiento, impidiendo así el escape del vapor.

Uno de los inconvenientes de la trampa de flotador y palanca, al igual que la trampa de flotador libre es que en ambas el aire que se mantiene dentro de la trampa no puede salir, por la válvula de drenaje, por esto a veces se instala una válvula de escape del aire

y gases no condensables en la parte superior de la trampa. Entre algunas ventajas de este tipo de trampa se tiene que el drenado puede ir del mínimo al máximo de condensado con igual eficiencia, sin verse afectado por los grandes cambios de presión.

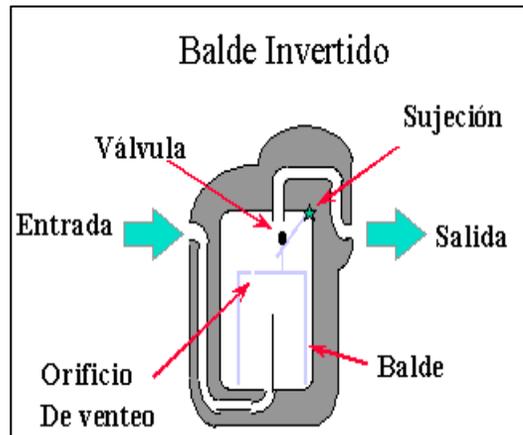
Existe una variedad de esta trampa, en vez de llevar una válvula manual que descargue el aire y gas no condensable posee una válvula automática (eliminador termostático de aire), la cual posee un elemento termostático que se dilata o contrae según la temperatura del fluido; se dilata y cierra el orificio de salida cuando el vapor llega, y se contrae y abre una vez que se ha producido el condensado. Luego cuando tenga aire nuevamente, este se irá a la parte superior y automáticamente se descargará.

- Trampas de balde

A diferencia de las trampas vistas anteriormente, este tipo de trampa no posee la esfera flotadora, sino que es un balde el que hace de válvula. Este tipo de trampa tiene 2 variantes que son:

- Trampa de balde abierta
- Trampa de balde invertido

Figura 4. **Trampa de balde abierta**



Fuente: *Trampas de vapor*. www.steamcontrol.com/wp/documentos/traps%20para%vapor.pdf. Consulta: septiembre de 2014.

Se llama así ya que el tipo de balde está dentro del cuerpo de la trampa, con su parte abierta hacia arriba. Este balde flotará con el condensado cuando permanezca vacío, pero caerá por su peso cuando esté lleno de condensado.

Una vez que entra el flujo de condensado, este poco a poco irá llenando el espacio bajo el balde, con esto el balde comenzará a subir y la válvula se cerrará. Como aumenta el nivel de condensado este comenzará a llenar el interior del balde, que debido al peso tenderá a bajar, abriendo la válvula.

Asimismo, la presión ejercida por el vapor empujará el condensado por la guía de la varilla de la válvula,

descargando el condensado hasta que nuevamente el balde pueda flotar.

Este es un tipo de trampa que no genera mayores problemas de mantenimiento debido a que posee un mecanismo simple, pero a causa de que posee un ciclo intermitente de descarga es más probable que sufra los efectos de la corrosión.

Además, como no posee un sistema de descarga de aire y gases no condensables, solo se puede hacer manualmente o bien con un sistema termostático. Estas trampas son pesadas y de gran tamaño en relación con su capacidad de descarga, esto es debido a que por el hecho de trabajar en función de la presión ejercida sobre el agua dependen de la sección que posea el balde.

- Trampa de balde invertido

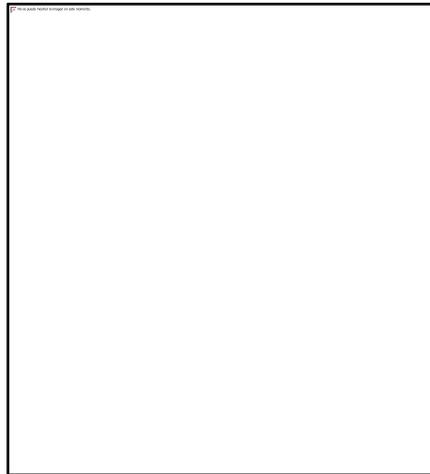
Como su nombre lo dice, este tipo de trampa posee en su interior un balde cuya abertura está hacia abajo, o sea, de balde invertido. El sistema de funcionamiento resulta simple. El vapor que entra mantiene al balde flotando, si se puede decir así, y mientras flote, este mantendrá cerrada la válvula de salida.

Cuando comienza a condensar, el interior de la trampa se va llenando del condensado, el que mandará al fondo al balde, causando que la válvula se abra, lo que junto con la

presión ejercida por el vapor dentro del balde, descargara el exceso de condensado.

A continuación se presenta una figura de una trampa de balde invertido.

Figura 5. **Trampa de vapor de balde invertido**



Fuente: *Trampas de vapor de cubeta invertida.*

www.cisvamex.com/productos/trampas-de-vapor/trampas-de-vapor--de-cubeta-invertida-invertida/cubeta-invertida.html. Consulta: septiembre de 2014.

El orificio de escape de aire es pequeño, lo que hace que el aire salga lentamente, tampoco puede ser grande porque ocasionará pérdidas de vapor. Por este motivo es que puede ser una desventaja ya que al mantener mayor tiempo el aire, corroerá la trampa.

En este tipo de trampa como en el de balde abierto, se debe mantener condensado en el fondo, ya que este hace de sello. Si

este sello se pierde, podría ser a causa de una pérdida de presión del vapor, ocasionará el paso del vapor libremente por la válvula.

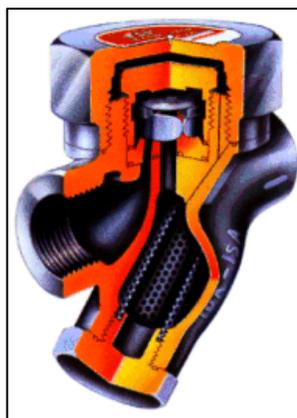
- Grupo termodinámico

Este tipo de trampas de vapor opera con el principio de diferencia entre flujo de vapor sobre la superficie comparado con el flujo del condensado.

Al entrar el vapor este viene con una velocidad mayor y el disco que usan como válvula se cierra, y este disco se abre al presentarse la baja velocidad del condensado.

Su funcionamiento es relativamente simple, ya que en su interior solo poseen una sola pieza en movimiento, un disco flotante. A continuación se presenta la figura de una trampa termodinámica.

Figura 6. **Trampa termodinámica**



Fuente: *Trampas de disco ThermoDyne.*

www.tlv.com/global/LA/product-solutions/thermodyne-series.html#1. Consulta: septiembre de 2014.

En el comienzo, la presión del condensado y aire levanta el disco de su asiento. El flujo es radial debajo del disco, hacia la salida. La descarga prosigue hasta que el condensado se acerca a la temperatura del vapor.

Un chorro de vapor *flash* reduce la presión debajo del disco y al mismo tiempo por re compresión, origina presión en la cámara de control encima del disco, esto empuja a este último contra su asiento, asegurando un cierre perfecto, sin pérdida de vapor.

Luego, al acumularse condensado, se reduce el calor en la cámara de control, conforme se va condensando el vapor bloqueado en la cámara la presión se reduce. El disco es levantado por la presión de entrada y se descarga el condensado.

Estas trampas tienen una gran capacidad de descarga en comparación con su tamaño, ya que son ligeras, simples y compactas. Además, debido a que la única parte en movimiento es el disco, es posible hacer un mantenimiento fácil.

- Grupo termostático

Estas trampas operan mediante un sensor de temperatura, el que identifica la temperatura del vapor y del condensado. Como el vapor se condensa adquiere una temperatura menor a la del vapor, cuando esta temperatura del condensado llega a un valor específico, la trampa abrirá para drenar el condensado.

Entre algunas de este tipo se tienen:

- Trampa de presión balanceada

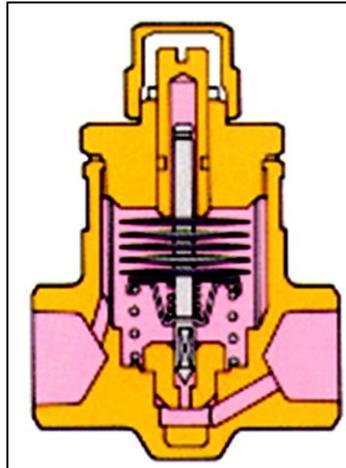
Este tipo de trampa posee un termostato que en su interior está lleno de una mezcla de alcohol, que siente la temperatura del condensado y el vapor.

Cuando el cuerpo de la trampa está lleno de condensado, la mezcla está a una temperatura baja, en comparación con el vapor, debido a esto el alcohol no ejerce presión dentro del tubo corrugado en el que se encuentra, dejando salir el condensado a través por el canal de salida.

Una vez que el vapor entra al cuerpo de la trampa es tal la temperatura de este, que la mezcla de alcohol comienza a hervir, causando un aumento en la presión del interior del elemento. Esta presión es superior a la que se encuentra en el cuerpo de la trampa con lo que se tendrá una expansión del elemento termostático, causando el cierre de la válvula.

Una vez que la válvula ha cerrado, el vapor no puede escapar. Entonces este vapor nuevamente se condensará y también se enfriará, con lo que también enfriará la mezcla de alcohol en el elemento. Con esto la presión del elemento disminuirá causando que la válvula se abra, descargando el condensado. Como se ha determinado, cuando mayor es la presión ejercida por el vapor, mayor será la presión en el elemento termostático que cause el cierre. A continuación se presenta la figura de una trampa de presión balanceada.

Figura 7. **Trampa termostática de presión balanceada**



Fuente: *sistemas de presión constante*. www.geocities.ws/madisonavenue/6883/trabajos/2trampas/trampas98.html. Consulta: septiembre de 2014.

Las trampas termostáticas de presión balanceada (ver figura 7) son de tamaño pequeño, con una gran capacidad de descarga. Además, para variaciones de presión se ajusta automáticamente dentro del rango de trabajo para el que se halla elegido.

En la mayoría de este tipo de trampas no se puede trabajar con vapor sobrecalentado, debido a que el exceso en la temperatura en el interior del elemento origina una presión tan alta que no puede ser balanceada por la presión a su alrededor.

- Trampa tipo bimetálico

El funcionamiento de esta trampa es simple, al igual que las anteriores, pero antes de entrar en lo que es el funcionamiento tal de la trampa, se verá lo que es llamado bimetálico.

El llamado bimetálico es la unión de dos láminas delgadas de metales distintos, los que al haber una variación de temperatura se dilatan cantidades distintas.

Entonces el funcionamiento de las trampas bimetálicas es el siguiente: la trampa está abierta en su totalidad en el arranque, donde descargará el aire y el condensado que se encuentre en el interior del cuerpo ya que la temperatura de este es menor que la del condensado.

Una vez que comience a venir vapor, la placa bimetálica, donde uno de sus extremos permanece fija y al otro se le une una válvula, reaccionará al cambio de temperatura, dilatándose, para así cerrar el orificio de salida por medio de la válvula.

Por otro lado, la presión de vapor dentro de la trampa actúa para mantener cerrada la válvula, por lo que para que el bimetálico regrese a su posición de descarga es necesario que el condensado se enfríe considerablemente, lo que a fin de cuentas es una reacción lenta frente a los cambios de temperatura.

Estas trampas son ligeras, de tamaños pequeños, y con gran capacidad de descarga. Además, son resistentes a fluidos corrosivos, presiones de vapor elevadas y vapor sobrecalentado.

2.2.3. Importancia de las trampas de vapor

Una trampa para vapor es un dispositivo que permite eliminar condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor. Sus importantes funciones se describen a continuación:

- Eliminación de condensado

El condensado debe pasar siempre, rápido y completamente a través de la trampa para vapor para obtener un mejor aprovechamiento de la energía térmica del vapor.

- Eliminación de aire y otros gases no condensables

El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Además, se debe tener presente que el O₂ y el CO₂ causa corrosión.

- Prevención de pérdidas de vapor

No deben permitir el paso de vapor sino hasta que este ceda la mayor parte de energía que contiene, también las pérdidas de vapor deben ser mínimas mientras la trampa libera vapor condensado, aire y gases incondensables.

2.2.4. Mantenimiento de las trampas de vapor

En el mantenimiento de las trampas se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Fugas de gas

El ultrasonido es un método llamado medida de ultrasonidos, es el más utilizado actualmente para la localización de fugas internas de gases a través de válvulas.

El paso de un gas a través de un orificio genera un ultrasonido cuya frecuencia e intensidad están relacionadas fundamentalmente con la presión y temperatura del gas, la densidad del gas, la velocidad de paso del gas a través del orificio y la geometría del orificio.

La presencia de ultrasonido en una válvula en posición cerrada significa claramente la existencia de una fisura a través de la cual se produce una fuga interna o externa de gas. Ahora bien, es prácticamente imposible determinar la magnitud de la fuga a partir de la medida de ultrasonido ya que ello depende de la geometría de la válvula, la geometría de la fisura y las variables termodinámicas del gas. En todo caso la correlación entre ultrasonido y tamaño de fuga tendría que establecerse para cada válvula y en cada caso.

- Fugas de vapor

La aplicación del método de medida de ultrasonidos ha experimentado un gran auge en el mantenimiento predictivo de trampas de vapor. Sin embargo, recientes investigaciones realizadas durante el desarrollo de los sistemas *Steam Watch* y *Smart Watch* para mantenimiento predictivo, han demostrado que el método tradicional de medida de ultrasonido no ofrece suficiente fiabilidad cuando se aplica en grandes instalaciones con miles de trampas de vapor en servicio (refinerías de petróleo, grandes

plantas químicas, entre otros), ya que el problema se hace más complejo cuando el gas es vapor y la válvula es una trampa.

En efecto, el purgador normalmente descarga a temperatura próxima a la ebullición. Durante este proceso el condensado sufre una expansión que produce un cambio de fase líquido-vapor.

La fase gaseosa (vapor de expansión) fluye a elevada velocidad generando un cierto nivel de ultrasonido, cuya frecuencia e intensidad depende del salto de presión a través de la trampa de vapor (presión diferencial), y el grado de enfriamiento que sufre el condensado antes de ser evacuado por la trampa. Sin embargo, la presencia de ultrasonido en este caso no significa la existencia de fuga de vapor vivo a través de la trampa.

Un serio problema adicional se presenta en líneas de baja presión (50,76 psia) en instalaciones con miles de trampas de vapor, descargando a un colector general de retorno de condensados. En este caso, la formación de vapor de expansión presuriza localmente la línea de retorno disminuyendo la presión diferencial en la trampa. Este efecto es muy fuerte cuando además se superponen fugas de vapor a través de algunos purgadores, lo que generalmente es muy frecuente.

En condiciones de fuerte contrapresión local la velocidad de paso del vapor a través de la trampa de vapor, aún en caso de fuga interna, no es suficientemente elevada para producir el nivel de ultrasonido que permita identificar dicha fuga. En resumen, la fiabilidad del método de medida de ultrasonido en el mantenimiento predictivo disminuye a medida que aumenta el número de trampas de una instalación. Los principales fallos del método son dos:

- Aparentes fugas de vapor vivo, inexistentes ya que en realidad es vapor de expansión.
- Fugas reales de vapor vivo no detectadas, enmascaradas por elevada contrapresión.

La investigación realizada por BiTherm durante los últimos cuatro años ha permitido perfeccionar el método, hasta conseguir un alto grado de fiabilidad alcanzado por el método *Steam Watch*. Se realizó una verificación exhaustiva de las trampas inspeccionadas y se encontró que el porcentaje de dañados, con fuga de vapor vivo, alcanzaban cifras entre el 20 y el 27 %, que no habían sido detectadas por ninguno de los equipos de ultrasonido portátiles utilizados, debido a la presurización local en la zona de descarga de las trampas que reducía significativamente la velocidad de paso del vapor a través de ellas.

2.2.5. Factores a tomar en cuenta para la selección de una trampa de vapor

La selección de trampas es fácil cuando se usa un programa de computadora, aun cuando no se tenga este programa de computadora es fácil de seleccionar las trampas de vapor cuando se conoce los factores siguientes: carga de condensado en lbm/hora, el factor de seguridad a usar, la diferencia de presiones, la presión máxima permitida, factor de seguridad.

- Carga de condensado: cada sección de “cómo trampear” debe considerar los rangos de condensación de vapor y los procedimientos adecuados de selección de trampas.

- Factor de seguridad a usar: generalmente se debe usar un factor de seguridad cuando se seleccionan trampas de vapor. El factor de seguridad sirve para satisfacer condiciones de flujo de condensado variable, caídas ocasionales de la presión diferencial y factores propios del equipo.
- La diferencia de presiones: diferencial máximo es la diferencia entre la presión de la caldera, o del cabezal de vapor, o a la salida de una válvula reguladora de presión, y la presión de la línea de retorno. Una trampa debe ser capaz de abrir venciendo esta presión diferencial.
- La presión máxima permitida: la trampa debe ser capaz de soportar la máxima presión permitida en el sistema o la presión de diseño. Tal vez no sea necesario que opere a esta presión, pero debe ser capaz de soportar.

Por ejemplo si la presión máxima de entrada es 377 psi y la presión en la línea de retorno es 159,5 psi, esto resulta en una presión diferencial de 217,5 psi, sin embargo, la trampa debe soportar la presión máxima posible de 377 psi.

Asimismo, para una mayor eficiencia y economía, la trampa de vapor también debe ofrecer lo siguiente:

- Pérdida mínima de vapor: resulta muy costoso al tener fugas sin reparar.
- Larga vida y servicio seguro: el desgaste rápido de sus partes resulta en una trampa que no ofrece servicio seguro. Una trampa

eficiente ofrece ahorro de dinero al minimizar la necesidad de pruebas, reparaciones, limpieza, interrupción de servicio o cualquier otro requerimiento.

- Resistencia a la corrosión: las partes importantes de una trampa deben ser resistentes a la corrosión para que no sufran los efectos dañinos de los condensados cargados con ácido o con oxígeno.
- Venteo del aire: el aire puede mezclarse con el vapor en cualquier momento, y en especial al arranque del equipo, por lo que el aire debe ser venteado para tener una transferencia de calor eficiente y prevenir bloqueos en el sistema.
- Venteo de CO₂: mediante el venteo de CO₂ a la temperatura del vapor se evita la formación de ácido carbónico. Por lo tanto la trampa de vapor debe operar a una temperatura igual, o bastante cerca, a la temperatura del vapor, ya que el CO₂ se disuelve en condensado que se ha enfriado a temperatura menor que la del vapor.
- Funcionamiento con contrapresión: presurización de las líneas de retorno puede ocurrir por diseño o por un mal funcionamiento. Una trampa de vapor debe ser capaz de funcionar aun cuando exista contrapresión en su tubería de retorno al sistema.
- Libre de problemas por suciedad: suciedad y basura siempre serán algo que se encuentra en las trampas debido a que se instalan en los niveles bajos del sistema de vapor. El condensado

recoge la suciedad y el sarro en las tuberías, y también partículas sólidas pueden ser acarreadas desde la caldera.

Una trampa que ofrezca cualquier cosa menor que todas estas características deseadas, resultará en una eficiencia menor en el sistema y en un incremento en costos. Cuando una trampa ofrece todas las características enlistadas, el sistema puede lograr:

- Calentamiento rápido de las unidades de transferencia de calor.
- Temperaturas máximas en las unidades para una mejor transferencia de calor.
- Funcionamiento a capacidad máxima.
- Máximo ahorro energético.
- Reducción de la mano de obra por la unidad.
- Una vida en servicio larga, sin problemas y de mínimo mantenimiento.

2.2.6. Factores de seguridad recomendados para las trampas de vapor

Los diferentes requerimientos de cada aplicación, ya sea a presión de vapor constante o variable, determinan que tipo de trampa debe especificarse. Factores que deben considerarse en la selección incluyen la capacidad para lidiar con aire a presiones diferenciales bajas, para conservar energía y para remover basuras y bloqueos de condensado acumulado.

Existen tres métodos estándar de selección que ayudan a determinar el tipo y tamaño apropiado para las trampas y el factor de seguridad.

- Presión constante de vapor

Usar un factor de seguridad de 2 a la presión diferencial de operación

- Presión variable del vapor
 - Vapor de 0 a 14,5 psi factor de seguridad de 2 a una presión diferencial de 1,45 psi.
 - Vapor de 14,5 psi a 29 psi factor de seguridad de 2 a una presión diferencial de 2,9 psi.
 - Vapor arriba de 29 psi: factor de seguridad de 3 a la mitad de la máxima presión diferencial a través de la trampa.
- Para presión de vapor constante o variable con drenaje de sifón: un controlador automático diferencial de condensado debe usarse con un factor de seguridad de 3.

Con presión constante de vapor, aplicar el factor de seguridad a la presión diferencial total. Con presión variable de vapor, aplicar el factor de seguridad a la mitad de la máxima presión diferencial.

Los valores de factor de seguridad recomendados aseguran una operación sin problemas bajo condiciones cambiantes. A continuación se presenta la tabla 1 con el factor de seguridad de las trampas.

Tabla I. Selección de trampas y factores de seguridad

Aplicación	Opción	Factor de seguridad
Cabezal de la caldera (Sobrecalentado)	IBLV	1,5
	IBCV - Pulido	Carga de Arranque
Tuberías principales de vapor y Ramels de la tuberías (sin congelamiento) (Congelamiento)	IB (CV si la presión varía)	2; si estaría al final de la tubería, antes de la válvula, o en un ramal
	IB	(Mismo que arriba)
Separador de vapor Calidad del vapor del 90 % o menos	IBLV	3
	DC	3
Venas de vapor	IB	2
Unidades de calentamiento y de manejo de aire (presión constante) (Presión variable 0 -1 bar) (Presión variable 1 -2 bar) (Presión variable mayor de 2 bar)	IBLV	3
	F&T	2, A presión diferencial de 0,034 bar
	F&T	2, A presión diferencial de 0,14 bar
Radiadores aletados y Tubos serpentín (presión constante) (Presión variable)	F&T	3, a la mitad de la máxima presión diferencial
	IB	2, normalmente; 3, para calentamiento rápido
Calentadores de aire de proceso (presión constante) (Presión variable)	F&T	2, normalmente; 3, para calentamiento rápido
	IB	2
Máquina de absorción de vapor (Enfriador) (Presión variable)	F&T	3, a la mitad de la máxima presión diferencial
	F&T	2, a presión diferencial de 0,034 bar
Intercambiadores de calor de tubo y coraza y serpentines de tubo y estampados (presión constante) (Presión variable)	IB	2
	F&T	menor de 1 bar: 2, a 0,034 bar; 1-2 bar: 2, a 0,14 bar mayor 2 bar: 3, a la mitad de la máxima presión diferencial
Evaporadores de un paso y de pasos múltiples	DC	3, con cargas de 22 700 Kg/hr.
Ollas con camida de vapor (drenado por gravedad) (drenado por sifón)	IBLV	3
	DC	3
Secadoras rotatorias	DC	3, para DC; 8, para IB a presión constante; 10, para IB presión variable
Tanques de flasheo	IBLV	3

Fuente: Armstrong International. *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensado.* p. 97.

2.3. Condensado

En algunas plantas de beneficio “sobra” combustible y por tal razón no se le da importancia al manejo del vapor y pareciera que un ahorro de energía no tuviese sentido, pero si se cuantifican los puntos de extracción sacrificados o el fruto dejado de procesar por bajones de presión en el suministro de vapor para la planta, se encontrará que este aspecto es de vital importancia.

El retorno de condensados en una planta de beneficio primario, es de gran importancia por cuanto se presenta ahorro de energía.

Uno de los usos más importantes que se le pueden dar a los condensados es el precalentamiento del agua de alimentación de la caldera, pues aparte del ahorro de energía se obtiene un ahorro en los costos de tratamiento de las aguas recicladas por este concepto.

No olvidar que con el precalentamiento del agua de alimentación a la caldera, se logra controlar el oxígeno disuelto y aumentar, en cierta proporción, el rendimiento de producción de vapor.

2.3.1. Definición del condensado

El condensado es un fenómeno que ocurre cuando una sustancia pasa de una fase de vapor a una fase líquida. Esto implica un reordenamiento de los átomos, ocurre en toda la sustancia en cuestión.

Sin embargo, el condensado se caracteriza porque debajo de una temperatura crítica una fracción considerable del gas se aglomera y forma lo que se conoce con el nombre de "condensado".

2.3.2. Problemas que causa el condensado en las tuberías de vapor

Asunto muy importante es el del aislamiento térmico de tuberías conductoras de vapor y de equipos con camisas de vapor, para lograr una eficiencia del vapor y a la vez ahorrar energía. Una tubería sin aislar o mal aislada, aparte de las pérdidas de energía, ocasiona problemas mecánicos por el incremento de condensados, tales como:

- Al tener condensados adicionales a los producidos por los intercambiadores, las trampas de vapor deberán desalojarlos teniendo que trabajar más, con mayor desgaste y mayor mantenimiento.
- Ocurre mayor desgaste de tuberías por el transporte de condensados.
- Riesgo grande de golpes de ariete, principalmente en las tuberías drenadas.

2.3.3. Fórmulas de uso general para el cálculo de cargas de condensado

Se debe buscar un mecanismo más efectivo para la determinación de la carga consumida durante el desarrollo de la práctica. Con esto se busca que se pueda realizar de forma más correcta y simple el balance energético alrededor de la caldera y del sistema de vapor.

Se debe tratar de implantar equipos de medición de los flujos de agua que eviten que se cometan errores en la toma de los datos, y posteriormente en la aplicación de estos a cálculos que arrojarán resultados erróneos en la práctica.

El cálculo se basa en la operación del calorímetro de estrangulamiento isoentálpica, y se calcula de la siguiente manera:

$$Q_v = Q_a - Q_p$$

$Q_v = mv (h_e - h_s)$ flujo de calor cedido por el vapor

h_e = entalpía del vapor húmedo que sale

h_s = entalpía líquido saturado a la presión del condensado

$Q_a = m_a C_p (T_e - T_s)$ flujo de calor tomado por el agua condensada

Q_p = flujo de calor perdido del condensado

mv = masa específica del vapor

m_a = masa específica del vapor de agua

m = masa específica del vapor saturado

a = agua

v = volumen específico del líquido saturado

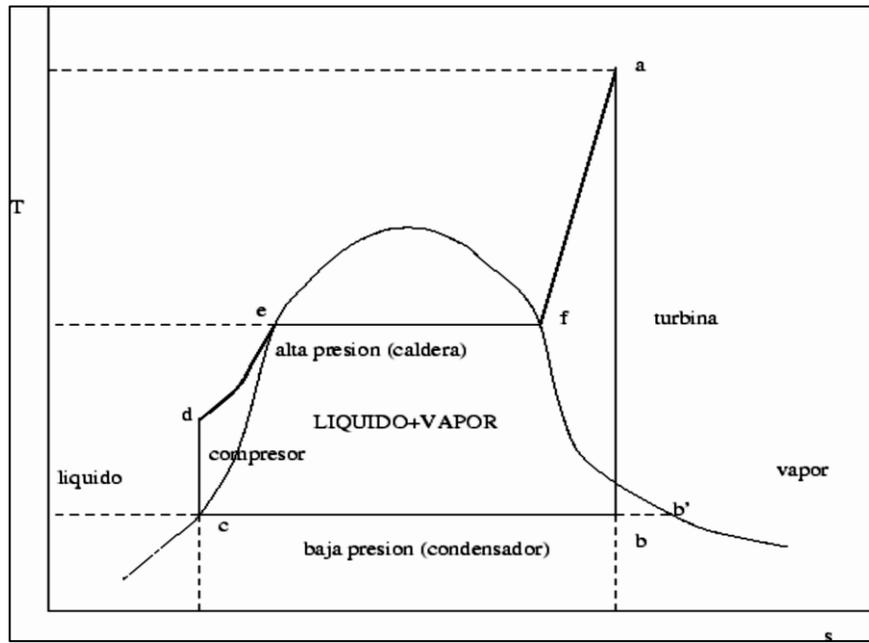
C_p = calor específico a presión constante

2.3.4. Tablas de formación de condensado durante la puesta en marcha

La figura 8 representa el diagrama temperatura vs. entropía donde se ve el vapor sobrecalentado y como la alta presión se expande isotrópicamente en una turbina en el proceso a-b. En el punto (b) llega con una calidad o título de vapor X_v en el proceso b-c el vapor se condensa.

El líquido condensado debe comprimirse c-d de forma isoentrópica hasta la isóbara de alta presión. Posteriormente se calienta en la caldera hasta que se convierte en vapor sobrecalentado d-e-f-a.

Figura 8. Diagrama Ts de las tablas termodinámicas



Fuente: CENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. p. 54.

La tabla II, da los siguientes valores para los puntos donde se conoce la presión.

Tabla II. **Tabla termodinámica de vapor saturado. Tabla de presiones**
A. 5 del apéndice núm. 2

Agua saturada – Tabla de presiones (Conclusión)													
H ₂ O	Pres., P psia	Temp. sat., T _{sat} °F	Volumen específico, ft ³ /lbm		Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
			Líqu. sat., v _f	Vap. sat., v _g	Líqu. sat., u _f	Evap., u _{ig}	Vap. sat., u _g	Líqu. sat., h _f	Evap., h _{ig}	Vap. sat., h _g	Líqu. sat., s _f	Evap., s _{ig}	Vap. sat., s _g
90	320.31	0.017655	4.898	290.46	813.8	1 104.3	290.76	895.1	1 185.9	0.46442	1.1475	1.6119	
95	324.16	0.017696	4.654	294.45	810.6	1 105.0	294.76	892.1	1 186.9	0.46952	1.1380	1.6076	
100	327.86	0.017736	4.434	298.28	807.5	1 105.8	298.61	889.2	1 187.8	0.47439	1.1290	1.6034	
110	334.82	0.017813	4.051	305.52	801.6	1 107.1	305.88	883.7	1 189.6	0.48355	1.1122	1.5957	
120	341.30	0.017886	3.730	312.27	796.0	1 108.3	312.67	878.5	1 191.1	0.49201	1.0966	1.5886	
130	347.37	0.017957	3.457	318.61	790.7	1 109.4	319.04	873.5	1 192.5	0.49989	1.0822	1.5821	
140	353.08	0.018024	3.221	324.58	785.7	1 110.3	325.05	868.7	1 193.8	0.50727	1.0688	1.5761	
150	358.48	0.018089	3.016	330.24	781.0	1 111.2	330.75	864.2	1 194.9	0.51422	1.0562	1.5704	
160	363.60	0.018152	2.836	335.63	776.4	1 112.0	336.16	859.8	1 196.0	0.52078	1.0443	1.5651	
170	368.47	0.018214	2.676	340.76	772.0	1 112.7	341.33	855.6	1 196.9	0.52700	1.0330	1.5600	
180	373.13	0.018273	2.533	345.68	767.7	1 113.4	346.29	851.5	1 197.8	0.53292	1.0223	1.5553	
190	377.59	0.018331	2.405	350.39	763.6	1 114.0	351.04	847.5	1 198.6	0.53857	1.0122	1.5507	
200	381.86	0.018387	2.289	354.9	759.6	1 114.6	355.6	843.7	1 199.3	0.5440	1.0025	1.5464	
250	401.04	0.018653	1.8448	375.4	741.4	1 116.7	376.2	825.8	1 202.1	0.5680	0.9594	1.5274	
300	417.43	0.018896	1.5442	393.0	725.1	1 118.2	394.1	809.8	1 203.9	0.5883	0.9232	1.5115	
350	431.82	0.019124	1.3267	408.7	710.3	1 119.0	409.9	795.0	1 204.9	0.6060	0.8917	1.4978	
400	444.70	0.019340	1.1620	422.8	696.7	1 119.5	424.2	781.2	1 205.5	0.6218	0.8638	1.4856	
450	456.39	0.019547	1.0326	435.7	683.9	1 119.6	437.4	768.2	1 205.6	0.6360	0.8385	1.4746	
500	467.13	0.019748	0.9283	447.7	671.7	1 119.4	449.5	755.8	1 205.3	0.6490	0.8154	1.4645	
550	477.07	0.019943	0.8423	458.9	660.2	1 119.1	460.9	743.9	1 204.8	0.6611	0.7941	1.4551	
600	486.33	0.02013	0.7702	469.4	649.1	1 118.6	471.7	732.4	1 204.1	0.6723	0.7742	1.4464	
700	503.23	0.02051	0.6558	488.9	628.2	1 117.0	491.5	710.5	1 202.0	0.6927	0.7378	1.4305	
800	518.36	0.02087	0.5691	506.6	608.4	1 115.0	509.7	689.6	1 199.3	0.7110	0.7050	1.4160	
900	532.12	0.02123	0.5009	523.0	589.6	1 112.6	526.6	669.5	1 196.0	0.7277	0.6750	1.4027	
1 000	544.75	0.02159	0.4459	538.4	571.5	1 109.9	542.4	650.0	1 192.4	0.7432	0.6471	1.3903	
1 200	567.37	0.02232	0.3623	566.7	536.8	1 103.5	571.7	612.3	1 183.9	0.7712	0.5961	1.3673	
1 400	587.25	0.02307	0.3016	592.7	503.3	1 096.0	598.6	575.5	1 174.1	0.7964	0.5497	1.3461	
1 600	605.06	0.02386	0.2552	616.9	470.5	1 087.4	624.0	538.9	1 162.9	0.8196	0.5062	1.3258	
1 800	621.21	0.02472	0.2183	640.0	437.6	1 077.7	648.3	502.1	1 150.4	0.8414	0.4645	1.3060	
2 000	636.00	0.02565	0.18813	662.4	404.2	1 066.6	671.9	464.4	1 136.3	0.8623	0.4238	1.2861	
2 500	668.31	0.02860	0.13059	717.7	313.4	1 031.0	730.9	360.5	1 091.4	0.9131	0.3196	1.2327	
3 000	695.52	0.03431	0.08404	783.4	185.4	968.8	802.5	213.0	1 015.5	0.9732	0.1843	1.1575	
3 203.6	705.44	0.05053	0.05053	872.6	0	872.6	902.5	0	902.5	1.0580	0	1.0580	

Fuente: CENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. p. 57.

2.3.5. Tablas de formación de condensado en régimen

Es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. En las tablas III y IV se dan los ejemplos.

Tabla III. Flujo de masa Kg/ h para retornos secos y cerrados

Tamaño de Tubería		Presión de Alimentación = 35 kPa Presión de Retorno = 0 kPa			Presión de Alimentación = 100 kPa Presión de Retorno = 0 kPa			Presión de Alimentación = 210 kPa Presión de Retorno = 0 kPa			Presión de Alimentación = 340 kPa Presión de Retorno = 0 kPa		
		$\Delta p/L$, Pa/m											
mm	in	15	60	240	15	60	240	15	60	240	15	60	240
Flujo, kg/h													
15	1/2	108	238	500	43	94	205	29	58	126	18	43	90
20	3/4	230	508	1 087	94	205	432	58	126	266	40	90	191
25	1	454	976	2 059	180	389	824	115	241	508	83	173	364
32	1 1/4	954	2 041	4 320	382	817	1 724	238	504	1 062	169	364	763
40	1 1/2	1 436	3 074	6 444	576	1 235	2 585	353	756	1 591	256	544	1 145
50	2	2 830	6 048	a	1 134	2 412	a	698	1 483	a	504	1 066	a
65	2 1/2	4 536	9 648	a	1 829	3 852	a	1 123	2 383	a	806	1 714	a
80	3	8 172	17 244	a	3 265	6 912	a	2 012	4 248	a	1 447	3 053	a
100	4	16 884	35 388	a	6 768	14 184	a	4 176	8 712	a	3 020	6 264	a
150	6	50 040	a	a	20 088	a	a	12 384	a	a	8 892	a	a
200	8	103 680	a	a	41 760	a	a	25 596	a	a	18 360	a	a

Tamaño de Tubería		Presión de Alimentación = 690 kPa Presión de Retorno = 0 kPa			Presión de Alimentación = 1030 kPa Presión de Retorno = 0 kPa			Presión de Alimentación = 690 kPa Presión de Retorno = 100 kPa			Presión de Alimentación = 1030 kPa Presión de Retorno = 100 kPa		
		$\Delta p/L$, Pa/m											
mm	in	15	60	240	15	60	240	15	60	240	15	60	240
Flujo, kg/h													
15	1/2	14	29	61	11	22	50	25	54	119	18	43	90
20	3/4	29	61	133	22	50	104	54	119	256	43	90	191
25	1	54	119	248	47	94	205	108	227	482	83	176	364
32	1 1/4	115	245	511	90	198	421	227	482	997	173	364	763
40	1 1/2	173	367	770	140	299	634	342	727	1 505	259	547	1 134
50	2	342	720	a	277	590	a	666	1 408	2 927	508	1 066	2 221
65	2 1/2	544	1 156	a	443	954	a	1 076	2 268	4 680	817	1 714	3 539
80	3	979	2 063	a	799	1 681	a	1 919	4 032	a	1 451	3 042	a
100	4	2 023	4 248	a	1 652	3 460	a	3 960	8 244	a	3 002	6 264	a
150	6	5 976	a	a	4 896	a	a	11 736	24 300	a	8 892	18 432	a
200	8	12 420	a	a	10 152	a	a	24 228	50 040	a	18 360	37 800	a

Fuente: Armstrong International. *Guía para conservación de vapor en drenado de condensados.*

Tabla IV. Cargas de condensado en Kg / h para ollas encamisadas

Diámetro de la Olla		Superficie de Transferencia de Calor m ²	Volumen en el Hemisferio litros	Vol. Arriba del Hemisferio litros por cm de altura	Condensación, kg/hr a la presión indicada								
					Presión del vapor en bar (g) y temperatura								
in	mm				0.3 107°C	0.7 115°C	1 120°C	1.6 129°C	2.5 139°C	4 152°C	5.5 162°C	7 171°C	9 180°C
18	460	0.33	25.0	1.6	150	170	180	190	210	240	260	280	300
19	480	0.37	29.4	1.8	170	190	200	220	240	270	290	310	330
20	510	0.41	34.3	2.0	190	210	220	240	260	290	320	340	370
22	560	0.49	45.7	2.5	230	250	270	290	320	360	390	420	450
24	610	0.58	59.3	2.9	270	300	320	340	380	420	460	490	530
26	660	0.69	75.4	3.4	320	350	370	400	440	500	540	580	620
28	710	0.79	94.2	4.0	370	410	430	470	520	580	630	670	720
30	760	0.91	115.8	4.6	430	470	490	540	590	660	720	770	830
32	810	1.04	140.6	5.2	490	530	560	610	670	750	820	880	950
34	860	1.17	168.6	5.9	550	600	630	690	760	850	930	990	1070
36	910	1.31	200.2	6.6	620	670	710	770	850	960	1040	1110	1200
38	970	1.46	235.4	7.3	690	750	790	860	950	1060	1160	1240	1330
40	1020	1.62	274.6	8.1	760	830	880	960	1050	1180	1280	1370	1480
42	1070	1.79	317.8	8.9	840	920	970	1050	1160	1300	1420	1510	1630
44	1120	1.96	365.5	9.8	920	1010	1060	1160	1270	1430	1550	1660	1790
46	1170	2.14	417.6	10.7	1010	1100	1160	1260	1390	1560	1700	1820	1950
48	1220	2.33	474.5	11.7	1100	1200	1270	1380	1520	1700	1850	1980	2130
54	1370	2.96	675.5	14.8	1390	1520	1600	1740	1920	2150	2340	2500	2690
60	1520	3.65	926.7	18.2	1720	1870	1980	2150	2370	2650	2890	3090	3330
72	1830	5.25	1601.3	26.3	2470	2700	2850	3100	3410	3820	4160	4450	4790

Fuente: Armstrong International. *Guía para conservación de vapor en drenado de condensados.*

p. 107.

3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1. Evaluación del sistema de tuberías

El transporte de vapor se hace generalmente por tuberías de hierro negro desde la caldera hasta el punto de consumo, que es una clase de equipo térmico, y luego desde este hasta la caldera pero con un menor contenido energético. La experiencia ha demostrado que la gran mayoría de calderas trabajan con eficiencias térmicas menores a la máxima alcanzable.

Por otro lado, en los sistemas de distribución de vapor o agua caliente, también se presentan deficiencias que se traducen en pérdidas de energía que a su vez implican mayor consumo de combustible en la caldera para compensar dichas pérdidas.

En un sistema de generación-distribución en conjunto, el uso ineficiente de la energía puede significar un aprovechamiento tan bajo como del 30 % de la energía aportada al sistema por el combustible de la caldera (sistema de vapor), en lugar de un 70 % como podría ser en el caso de un sistema optimizado.

La ineficiencia de las calderas y sistemas de distribución, además de implicar mayor consumo de combustible, implican también un incremento proporcional de las emisiones de gases de combustión.

De acuerdo a lo descrito en el numeral 1.4 del capítulo uno, el sistema de tuberías de vapor del hospital del IGSS de Escuintla, debe ser evaluado

eficientemente, ya que las averías son claras en el cuarto de calderas, en el manifold, y en los servicios de vapor que se encuentran en:

- Cocina
- Lavandería
- Central de equipos
- Calderas

Cuando se efectuó la visita técnica, se detectaron fallas en el sistema de tuberías por falta de una inspección constante; las averías y deterioro del sistema se encuentran específicamente en:

- Fugas de vapor
- Falta aislamiento térmico
- Aislamiento térmico muy antiguo
- Aislamiento térmico dañado
- Trampas de vapor sin mantenimiento
- Trampas de vapor dañadas

Cuando existe una buena evaluación del sistema de tuberías se prevén pérdidas de calor, no obstante parte de calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua (agua caliente) y a depositarse en el fondo de la misma.

Si este condensado se le permite mantenerse en la tubería ocasionará tanto pérdida de calor como bloqueo con sus correspondientes consecuencias.

En la evaluación del sistema de tuberías se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones específicas:

- Inspeccionar las tuberías y sus accesorios
 - Fugas
 - Corrosión
 - Falta de aislamiento térmico
 - Trampas
 - Válvulas reductoras de presión
 - Válvulas de paso
 - Filtros y cheques

- Inspeccionar el aislamiento térmico:
 - Humedad
 - Espesor adecuado
 - Deterioro a estado físico

3.1.1. Pérdida de calor por falta de aislante térmico en tuberías

Se debe aislar térmicamente las tuberías por medio de colchones desmontables. Estos colchones se pueden fabricar con fibra de vidrio fijados y cubiertos con lámina para evitar el deterioro del aislante. Esta solución garantiza una larga vida a los colchones. La pérdida que se genera en cuanto a costos de mantenimiento, combustible, y otros repercute a un 30 %.

Es importante llevar un control de revisiones periódicas de fugas en la tubería y conexiones de accesorios para evitar que el aislante sea deteriorado por las fugas de vapor.

Se considera el espesor del colchón como igual al del aislamiento térmico de una tubería del mismo diámetro.

Típicamente las calderas y sistemas de tuberías de vapor trabajan a una presión de 100 a 150 psi, lo cual significa que las instalaciones desnudas (equipos, tuberías, accesorios, entre otros) tienen temperaturas superficiales de 336,6 a 363,6 °F aproximadamente. Por ello se crean gradientes de temperatura con el aire exterior que producen intercambios de calor. Esto se traduce en pérdidas de energía al ambiente, los cuales son mayores cuando las instalaciones están a la intemperie.

La pérdida de calor por falta de aislamiento térmico en tuberías es un tema de prioridad en el hospital del IGSS de Escuintla, debido a que gran parte de las tuberías no está aislada térmicamente, sucede también con frecuencia que el aislamiento es removido de las tuberías, válvulas y partes de las calderas, para fines de reparación y no es colocado de nuevamente, dejando así superficies desnudas que constituyen no solo un riesgo para la seguridad de los trabajadores, sino también una pérdida de calor que produce condensación de vapor y merma de este, lo cual tiene que ser compensado con mayor aporte de combustible en la caldera.

Para reducir las pérdidas de calor al ambiente es necesario que las superficies de tuberías, accesorios, equipos, entre otros, estén convenientemente aisladas, para evitar que se pierda energía, es necesario considerar que el aislamiento en las tuberías no es 100 % eficaz.

Un sistema de aislamiento térmico está formado por la combinación de materiales de elevada resistencia al paso de calor, acabado y accesorio que ensamblados cumplen uno o más de los anteriores objetivos.

La eficiencia y servicio de un aislamiento depende directamente de su protección a la entrada de humedad y del daño mecánico o químico, por lo tanto

la selección de materiales para acabado de protección debe estar basada en las condiciones de la instalación.

Se recomienda seleccionar un aislante para una determinada aplicación, deberán tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tipo de aislante
- Conductividad térmica
- Emisividad del aislante
- Temperatura de trabajo
- Densidad
- Característica higroscópica
- Capacidad de secado rápido si absorbe humedad
- Estabilidad (alteración de sus características térmicas)
- Resistencia a la combustión
- Emisión de gases tóxicos en caso de combustión
- Facilidad de colocación
- Resistencia al daño y al deterioro
- Resistencia a la deformación y contracción
- Facilidad para recibir un acabado exterior superficial
- No ser peligroso para la salud durante su instalación

Para los sistemas de vapor a las presiones usuales en el hospital muchas veces es suficiente y adecuado usar aislamiento de fibra de vidrio, el cual viene normalmente en presentaciones preformadas listas para instalar, lo que aunado a su bajo peso y buenas características térmicas significa bajos costos de instalación de aislamiento.

Durante la inspección física que se realizó a las instalaciones se detectaron los siguientes tramos de tubería sin aislamiento térmico y en algunos tramos el aislante estaba defectuoso, por tal razón se tomó en cuenta a los tramos como si estuvieran sin aislar.

Tabla V. **Tramos de tubería sin aislamiento térmico**

Tramos de tubería sin aislamiento Pies	Diámetro de tubería Pulgadas	Presión Psig	Temperatura de saturación F
59,04	1	100	327,86
21,12	2	100	327,86
4	3/4	80	312,07
19,68	3/4	60	292,73
14	4	100	327,86

Fuente: elaboración propia.

Presión atmosférica 14,696 psi

P man. = 100 psi

Interpolando en tablas de vapor saturado para Pabs. = 114,696 psi se tiene:

A. 110 psi _____ 334,82 °F D

B. 114,696 psi _____ **Ts**

C. 120 psi _____ 341,30 °F E

$$T_s = \left(\frac{B-C}{A-C} \right) * D + \left(\frac{B-A}{C-A} \right) * E$$

$$T_s = \left(\frac{114,696-120}{110-120} \right) * 334,82 + \left(\frac{114,696-110}{120-110} \right) *$$

*341,30

$$T_s = 337,86 \text{ °F}$$

P man. = 80 psig

P abs. = 94,696 psi

90 psi _____ 320,31 °F

94,696 psi _____ Ts

95 psi _____ 324,16 °F Ts= 323,45 °F

P man. = 60 psig

P abs. = 74,696 psig

70 psig _____ 302,96 °F

74,696 psig _____ Ts

75 psig _____ 307,63 °F Ts = 307,35 °F

Energía perdida sin aislamiento para el tramo de 4 pies

Costo del combustible = 12,0202 Q/galón

Diámetro = $\frac{3}{4}$

Longitud = 4 pies

Pman. = 80 psi Pabs.= 94,696 Ts = 323,45 °F Temp. ambiente =
80 °F

Poder calorífico del combustible = 150 000 Btu/galón = 0,15 MBtu/galón

Temperatura que se está perdiendo = Ts – T amb.

323,45 °F - 80 °F = 243,45

$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$

Q = energía perdida Btu/h-pie

A = área superficial externa pie^2 / pie núm.8 (ver tabla VIII)

U= pérdida de calor en tuberías desnudas Btu/h- pie^2 - °F (ver tabla VII)

U= coeficiente global de transmisión de calor (Btu/h- pie^2 °F)

ΔT = Diferencia entre temperatura de saturación y temperatura de ambiente °F

De tabla VII para diámetro = $\frac{3}{4}$ " interpolando se tiene

200 _____ 3,04

243,45 ____ U

250 _____ 3,35

$$U = ((243,45 - 250) / (200 - 250)) * 3,04 + ((243,45 - 200) / (250 - 200))$$

$$U = 3,309 \text{ (Btu/h-pie}^2 \text{ - °F)}$$

De tabla VIII para diámetro = $\frac{3}{4}$, $A = 0,275 \text{ pie}^2/\text{pie}$

$$Q = 3,309 * 0,275 * (323,45-80)$$

$$Q = 221,533 \text{ (Btu/h-pie)}$$

Energía perdida por año

$$221,533 \text{ (Btu/H-pie)} * 4 \text{ pies} * (10 * 365) = 3 \ 234 \ 381,8 \text{ Btu/año} = 3,23 \text{ MBtu/año}$$

En dinero significa lo siguiente:

$$3,23 \text{ Mbtu/año} * 1 \text{ galón}/0,15 \text{ Mbtu} * 12,0202 \text{ Q}/1 \text{ gal} = 258,835 \text{ Q/año}$$

Energía perdida sin aislamiento para el tramo de 19,68 pies

Diámetro = $\frac{3}{4}$

Longitud = 19,68 pies

Presión = 60 psig $T_s = 307,35 \text{ }^\circ\text{F}$ Temp. ambiente = $80 \text{ }^\circ\text{F}$

Poder calorífico del combustible = 0,15 MBtu/galón

Costo del combustible = 12,0202 Q/galón

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

De tabla VII para diámetro = $\frac{3}{4}$ $U = ?$

- 200 _____ 3,04
- 227,35 _____ U
- 250 _____ 3,35

$$U = ((227,35-250)/(200-250)) * 3,04 + ((227,35-200)/(250-200)) * 3,25$$

$$U = 3,209 \text{ (Btu / h - pie}^2 \text{ - }^\circ\text{F)}$$

De tabla VIII para diámetro = $\frac{3}{4}$ $A = 0,275 \text{ (pie}^2\text{/pie)}$

$$Q = 0,275 * 3,209 * (307,35-80)^\circ \text{ F}$$

$$Q = 200,63 \text{ (Btu/h-pie)}$$

Energía perdida por año

$$200,63 * 19,68 * 10 * 365 = 14,41 \text{ MBtu/año}$$

En dinero significa lo siguiente

$$14,41 \text{ MBtu/año} * 1 \text{ galon} / 0,15 \text{ MBtu} * 12,0202 \text{ Q} / 1 \text{ galón} = 1154,74 \text{ Q/año}$$

Energía perdida sin aislamiento para el tramo de 59,04 pies

Diámetro = 1

Longitud = 59,04 pies

Presión = 100 psig $T_s = 337,86^{\circ}\text{F}$ Temp. ambiente = 80°F

Poder calorífico combustible = 0,15 MBtu/galón

Costo combustible = 12,0202 Q/galón

$Q = A \cdot U \cdot \Delta T$

De tabla VII para diámetro = 1"

- 250 _____ 3,30
- 257,86 _____ U
- 300 _____ 3,61

$$U = ((257,86-300)/(250-300)) * 3,30 + ((257,86-250)/(300-250)) * 3,61$$

$$U = 3,348 \text{ (Btu/h-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F)}$$

De tabla VIII para diámetro = 1" $A = 0,344 \text{ (pie}^2\text{/pie)}$

$$Q = 0,344 * 3,348 * (337,86-80) \text{ F}$$

$$Q = 296,98 \text{ (Btu/h-pie)}$$

Energía pedida por año

$$296,98 * 59,04 * 10 * 365 = 63,99 \text{ MBtu/año}$$

En dinero significa lo siguiente

$$63,99 \text{ MBtu/año} * 1 \text{ gal} / 0,15 \text{ MBtu} * 12,0202 \text{ Q/1 gal} = 5127,82 \text{ Q/año}$$

Energía perdida sin aislamiento para el tramo de 21,12 pies

Diámetro = 2"

Longitud = 21,12 pies

Presión = 100 psig $T_s = 337,86^{\circ} F$ Temp. ambiente = $80^{\circ} F$

Poder calorífico combustible = 0,15 MBtu/galón

Costo del combustible = 12,0202 Q/galón

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

De tabla VII para diámetro = 2

- 250 _____ 3,15
- 257,86 _____ U
- 300 _____ 3,46

$$U = ((257,86-300)/(250-300)) * 3,15 + ((257,86-250)/(300-250)) * 3,46$$

$$U = 3,199 \text{ (Btu/h-pie}^2\text{-F)}$$

De tabla VIII para diámetro = 2"

$$A = 0,622 \text{ (pie}^2\text{/pie)}$$

$$Q = 0,622 * 3,199 * (337,86-80) \text{ }^{\circ}F$$

$$Q = 513,08 \text{ (Btu/h-pie)}$$

Energía perdida por año

$$513,08 * 21,12 * 10 * 365 = 39,55 \text{ MBtu/año}$$

En dinero significa lo siguiente

$$39,55 \text{ MBtu/año} * 1 \text{ galón}/0,15 \text{ MBtu} * 12,0202 \text{ Q}/1 \text{ galón} = 3169,33 \text{ Q/año}$$

Energía perdida sin aislamiento para el tramo de 14 pies

Diámetro = 4

Longitud = 14 pies

Presión = 100 psi $T_s = 337,86$ °F Temp. Ambiente = 80 °F

Poder calorífico combustible = 0,15 MBtu/galón

Costo del combustible = 12,0202 Q/galón

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

De tabla VII para diámetro = 4

- 250 _____ 3,01
- 257,86 _____ U
- 300 _____ 3,32

$$U = ((257,86-300)/(250-300)) * 3,01 + ((257,86-250)/(300-250)) * 3,32$$

$$U = 3,059 \text{ (Btu/h-pie}^2 \text{ °F)}$$

De tabla VIII para diámetro = 4 $A = 1,178$ (pie² /pie)

$$Q = 1,178 * 3,059 * (337,86-80)^{\circ F}$$

$$Q = 929,199 \text{ (Btu/h-pie)}$$

Energía perdida por año

$$929,199 * 14 \text{ pies} * 10 * 365 = 47,48 \text{ MBtu/año}$$

En dinero significa lo siguiente

$$47,48 \text{ MBtu/año} * 1 \text{ galón}/0,15 \text{ MBtu} * 12,0202 \text{ Q}/1 \text{ galón} =$$

$$3 \text{ 804,79 Q/año}$$

Total de pérdidas por tubería sin aislar

$$(258,835 + 1\,154,74 + 5\,127,82 + 3\,169,33 + 3\,804,79) = 13\,515,52 \text{ Q/año}$$

$$(32,46 + 144,79 + 642,99 + 397,41 + 477,09) \$ / \text{año} = 1\,694,74 \$ / \text{año}$$

Tabla VI. **Datos calculados de pérdidas de calor por falta de aislante térmico**

Longitud Tubería Pies	Diámetro Tubería Pulgs.	Presión Tubería Psi	Temp. Sat. °F	Costo de Combust. Q/ galón	Perdidas Q / año	Perdidas \$ / año
4	3/4	80	323,45	12,0202	258,84	32,46
19,68	3/4	60	307,35	12,0202	1 154,74	144,70
59,04	1	100	337,86	12,0202	5 127,82	642,99
21,12	2	100	337,86	12,0202	3 169,33	397,41
14	4	100	337,86	12,0202	3 804	477,09
					13 514,73	1 694,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Pérdidas de calor en tuberías de acero desnudas y en superficies planas (Btu/hora-pie² °F)

Tamaño tubería pulg	PIES DIÁMETRO EXTERNO pulg	FACTOR	PÉRDIDAS DE CALOR EN TUBERÍAS DE ACERO DESNUDAS Y EN SUPERFICIES PLANAS (Btu/hora-pie cuadrado-grado Fahrenheit)																					
			DIFERENCIA DE TEMPERATURA (GRADOS FAHRENHEIT) ENTRE SUPERFICIE DE TUBERÍA Y AIRE AMBIENTE (AIRE A 80 GRADOS FAHRENHEIT)																					
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	
0.50	0.370	0.840	2.12	2.48	2.84	3.10	3.42	3.74	4.07	4.37	4.66	4.95	5.20	5.42	5.65	5.82	5.99	6.15	6.29	6.43	6.56	6.68	6.79	6.89
0.75	0.775	1.050	2.08	2.43	2.74	3.04	3.35	3.67	4.00	4.30	4.59	4.87	5.14	5.38	5.62	5.82	6.00	6.16	6.31	6.45	6.58	6.70	6.81	6.91
1.00	0.744	1.315	2.04	2.38	2.69	2.99	3.30	3.61	3.94	4.23	4.52	4.79	5.04	5.26	5.46	5.64	5.80	5.95	6.09	6.22	6.34	6.45	6.55	6.64
1.25	0.435	1.660	2.00	2.34	2.64	2.91	3.24	3.55	3.86	4.16	4.44	4.70	4.95	5.17	5.37	5.54	5.70	5.84	5.97	6.10	6.22	6.33	6.43	6.52
1.50	0.497	1.900	1.98	2.31	2.61	2.90	3.20	3.52	3.84	4.23	4.62	5.03	5.47	5.93	6.40	6.86	7.31	7.75	8.18	8.60	9.01	9.41	9.79	10.14
2.00	0.627	2.375	1.95	2.27	2.56	2.85	3.15	3.46	3.78	4.17	4.56	4.97	5.41	5.87	6.37	6.89	7.40	7.89	8.36	8.81	9.24	9.65	10.04	10.41
2.50	0.753	2.875	1.92	2.23	2.52	2.81	3.11	3.42	3.74	4.12	4.51	4.92	5.36	5.82	6.31	6.84	7.40	7.95	8.48	9.00	9.50	10.00	10.48	10.94
3.00	0.916	3.500	1.89	2.20	2.49	2.77	3.07	3.37	3.68	4.06	4.46	4.87	5.31	5.77	6.26	6.79	7.35	7.94	8.57	9.25	9.96	10.67	11.37	12.05
3.50	1.047	4.000	1.87	2.18	2.46	2.74	3.04	3.34	3.66	4.05	4.43	4.84	5.27	5.73	6.23	6.75	7.31	7.91	8.54	9.21	9.92	10.67	11.44	12.19
4.00	1.178	4.500	1.85	2.16	2.44	2.72	3.01	3.32	3.64	4.02	4.40	4.81	5.25	5.71	6.20	6.72	7.28	7.87	8.51	9.18	9.89	10.64	11.41	12.16
4.50	1.309	5.000	1.84	2.14	2.42	2.70	2.99	3.30	3.61	4.00	4.38	4.79	5.22	5.68	6.17	6.69	7.25	7.85	8.48	9.15	9.86	10.61	11.38	12.13
5.00	1.456	5.563	1.81	2.13	2.40	2.68	2.97	3.28	3.59	3.97	4.35	4.76	5.20	5.65	6.15	6.68	7.23	7.82	8.45	9.12	9.83	10.58	11.34	12.09
6.00	1.734	6.625	1.80	2.10	2.37	2.65	2.94	3.24	3.55	3.94	4.32	4.72	5.16	5.61	6.10	6.63	7.19	7.78	8.41	9.08	9.79	10.54	11.29	12.04
7.00	1.996	7.625	1.79	2.08	2.35	2.63	2.91	3.21	3.53	3.91	4.29	4.69	5.13	5.58	6.07	6.60	7.15	7.75	8.38	9.05	9.76	10.51	11.26	12.01
8.00	2.258	8.625	1.77	2.06	2.33	2.60	2.89	3.19	3.50	3.88	4.26	4.67	5.10	5.56	6.05	6.57	7.12	7.72	8.35	9.02	9.73	10.48	11.23	11.98
9.00	2.520	9.625	1.76	2.05	2.31	2.59	2.87	3.17	3.48	3.86	4.24	4.65	5.08	5.53	6.02	6.54	7.10	7.69	8.32	9.00	9.71	10.46	11.21	11.96
10.00	2.814	10.750	1.75	2.03	2.30	2.57	2.85	3.15	3.46	3.84	4.22	4.62	5.05	5.51	6.00	6.52	7.08	7.67	8.30	9.00	9.71	10.46	11.21	11.96
12.00	3.338	12.750	1.73	2.01	2.27	2.54	2.83	3.12	3.43	3.79	4.17	4.57	5.00	5.46	5.94	6.47	7.02	7.61	8.24	8.91	9.62	10.37	11.12	11.87
14.00	3.655	14.000	1.72	2.00	2.26	2.53	2.81	3.11	3.41	3.79	4.17	4.57	5.00	5.46	5.94	6.47	7.02	7.61	8.24	8.91	9.62	10.37	11.12	11.87
16.00	4.169	16.000	1.70	1.98	2.24	2.51	2.79	3.08	3.39	3.77	4.14	4.55	4.98	5.43	5.92	6.44	6.99	7.59	8.21	8.88	9.59	10.34	11.09	11.84
18.00	4.727	18.000	1.69	1.96	2.22	2.49	2.77	3.07	3.37	3.75	4.12	4.53	4.96	5.41	5.90	6.42	6.97	7.56	8.19	8.86	9.57	10.32	11.07	11.82
20.00	5.286	20.000	1.68	1.95	2.21	2.47	2.75	3.05	3.36	3.73	4.11	4.51	4.94	5.39	5.88	6.40	6.95	7.54	8.17	8.84	9.55	10.29	11.04	11.79
24.00	6.447	24.000	1.66	1.93	2.19	2.45	2.73	3.03	3.33	3.70	4.07	4.48	4.90	5.36	5.84	6.36	6.92	7.51	8.14	8.80	9.51	10.25	11.00	11.75
SUPERFICIE VERTICAL			1.84	2.14	2.42	2.70	3.00	3.30	3.62	4.00	4.38	4.79	5.22	5.68	6.17	6.70	7.26	7.85	8.48	9.15	9.86	10.61	11.37	12.12
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSMISIBILIDAD ABOG			2.03	2.37	2.67	2.97	3.28	3.59	3.92	4.31	4.70	5.12	5.56	6.02	6.52	7.05	7.61	8.21	8.85	9.52	10.24	10.99	11.74	12.49
SUPERFICIE HORIZONTAL, TRANSMISIBILIDAD INCLINADA			1.61	1.86	2.11	2.36	2.64	2.93	3.23	3.60	3.97	4.37	4.80	5.25	5.73	6.25	6.80	7.39	8.02	8.69	9.39	10.14	10.89	11.64

Fuente: GARCÍA, Carlos. *Optimización de los recursos de vapor y agua potable del hospital general Dr. Juan José Arévalo Bermejo*. p. 15.

Tabla VIII. Áreas, tamaños y capacidades de tubería estándar NPS todas las dimensiones y pesos son nominales

Nom. Size in.	Diameter, in.		Thickness in.	Circumference in.		Transverse areas, sq in.		External surface area sq ft/in ft of pipe	Length of pipe containing cu ft	wt of water per foot, lb
	External	Internal		External	Internal	External	Internal			
1/8	0.405	0.289	0.068	1.272	0.846	0.129	0.057	0.1060	2533.775	0.075
1/4	0.540	0.364	0.088	1.696	1.144	0.229	0.104	0.1414	1383.789	0.045
3/8	0.675	0.493	0.091	2.121	1.549	0.358	0.191	0.1767	754.360	0.083
1/2	0.840	0.622	0.109	2.639	1.954	0.554	0.304	0.220	473.906	0.132
3/4	1.050	0.824	0.113	3.299	2.589	0.866	0.633	0.275	270.034	0.231
1	1.315	1.049	0.133	4.131	3.296	1.358	0.861	0.344	166.618	0.375
1 1/4	1.660	1.380	0.140	5.215	4.336	2.164	1.495	0.436	98.275	0.65
1 1/2	1.900	1.610	0.145	5.969	5.058	2.835	2.036	0.498	70.723	0.88
2	2.375	2.067	0.154	7.461	6.494	4.430	3.355	0.622	42.913	1.45
2 1/2	2.875	2.489	0.203	9.032	7.757	6.492	4.788	0.753	30.077	2.07
3	3.500	3.068	0.216	10.998	9.638	9.621	7.393	0.917	19.479	3.20
3 1/2	4.000	3.548	0.226	12.568	11.146	12.566	9.886	1.047	14.565	4.29
4	4.500	4.026	0.237	14.137	12.648	15.904	12.730	1.178	11.312	5.50
4 1/2	5.000	4.506	0.247	15.708	14.166	19.835	15.947	1.3009	9.030	6.91
5	5.563	5.047	0.258	17.477	15.856	24.306	20.006	1.4586	7.198	8.67
6	6.625	6.065	0.280	20.813	19.054	34.472	28.891	1.7384	4.984	12.51
7	7.625	7.023	0.301	23.955	22.063	45.864	38.738	1.996	3.717	16.80
8	8.625	8.071	0.277	27.096	25.356	58.426	51.161	2.2350	2.815	22.18
8	8.625	7.981	0.322	27.096	25.073	58.426	50.027	2.2058	2.878	21.70
9	9.625	8.941	0.342	30.238	28.089	72.760	62.786	2.5220	2.294	27.20
10	10.750	10.192	0.279	33.772	32.019	90.763	81.685	2.8174	1.766	35.27
10	10.750	10.136	0.307	33.772	31.843	90.763	80.891	2.8104	1.826	34.20
10	10.750	10.020	0.366	33.772	31.479	90.763	78.855	2.8104	1.826	34.20
11	11.750	11.000	0.375	36.914	34.558	108.434	95.033	3.076	1.515	41.20
12	12.750	12.090	0.330	40.055	37.892	127.676	114.800	3.338	1.254	49.70
12	12.750	12.000	0.375	40.055	37.699	127.676	113.097	3.338	1.273	49.00

Fuente: GARCÍA, Carlos. *Optimización de los recursos de vapor y agua potable del hospital general Dr. Juan José Arévalo Bermejo*. p. 15.

3.1.2. Pérdida de calor por falta de aislante térmico en accesorios

De acuerdo a la visita técnica realizada en el hospital del IGSS de Escuintla, se pudo observar que todos los accesorios están sin aislamiento térmico, esto contribuye a que aumente la pérdida de calor, además la temperatura del aire en el local o en el recinto cerrado donde se encuentran las mismas, puede alcanzar valores elevados e incomodar a las personas que trabajan en las cercanías.

Por lo anteriormente expuesto se recomienda tomar en cuenta en la supervisión a los accesorios porque son igualmente indispensables como las tuberías, para evitar las pérdidas térmicas.

Aislar térmicamente una válvula con diámetro de 200 decímetros equivale a ahorrar 4,41 lbm / hora de vapor.

- Propiedades características de los aislantes térmicos en los accesorios
 - Coeficiente de conductividad térmica: el valor del coeficiente debe ser el menor posible, por lo regular se llega a obtener menor a $0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ para una temperatura en la superficie caliente, inferior o igual a $507,6 \text{ }^\circ\text{F}$ y una temperatura en la superficie fría, inferior o igual a $129,6 \text{ }^\circ\text{F}$
 - Resistencia al calor: el aislante térmico, sometidos a temperaturas altas, debe ser capaz de resistirlas sin que sus características experimenten cambios.

- Resistencia al fuego: el material aislante debe ser incombustible o ignífugo.
- Resistencia mecánica: todo material debe conservar en el tiempo sus dimensiones iniciales y especialmente, ofrecer durante el servicio una óptima resistencia a los asentamientos y debilitamientos. Esto ha llevado en la práctica a evitar los materiales de densidad muy baja.
- Resistencia a la humedad: los aislantes térmicos deben mantenerse estables en una atmósfera caliente y húmeda.

Estas características no solo son aplicables a los aislantes de los accesorios sino también para los de las tuberías.

Nota: debido a que la cantidad de accesorios que hay sin aislamiento son pocos, se tomarán todos como una longitud única de tubería en los tramos encontrados sin aislante térmico calculados anteriormente según el diámetro correspondiente.

Tabla IX. **Medidas de accesorios sin aislamiento térmico**

Accesorio	Diámetro Pulgs	Cantidad
Codos de 90 ⁰	3/4	3
Codos de 90 ⁰	1	2
Codos de 90 ⁰	2	1
Codos de 90 ⁰	4	2
Válvula de compuerta	3/4	3
Válvula de compuerta	2	2
Válvula de compuerta	4	2

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Pérdida de vapor por fugas

Un problema de gran importancia con el que sistemáticamente tiene que enfrentarse todo operador de una caldera de vapor a la hora de producir energía, es el de la aparición de fugas inesperadas en el circuito de generación de vapor.

Dicho problema tiene de una serie de características que le hacen especialmente grave en el caso de las calderas. También es importante la revisión de fugas en las válvulas y los demás accesorios en la primera etapa de operación para ver detalles de ensamble de la red de distribución

Generalmente las pérdidas de vapor que existe en un sistema de tuberías se debe a que no existe un programa de mantenimiento, este es el caso del hospital del IGSS de Escuintla.

Por un lado, el problema aparece de forma inesperada, resultando muy difícil, por no decir imposible, la predicción precisa del mismo. Los fenómenos de corrosión y de degradación de materiales que dan lugar a la aparición de las fugas son perfectamente conocidos, sin embargo, nadie tiene datos suficientes de todos los elementos instalados en una caldera, y menos de sus defectos ocultos de fabricación, como para establecer un modelo matemático que permitiese predecir con cierta fiabilidad la aparición de una fuga.

Como máximo se puede decir que cuantos más días se lleva sin la manifestación de una fuga, más alta será la probabilidad de que dicha fuga pudiese aparecer. Una fuga se caracteriza por ser un problema que, una vez que aparece, siempre crece en magnitud y consecuencias, y nunca se puede esperar que remita por sí solo autocorrigiéndose.

La probabilidad de que en un determinado punto del circuito aparezca una fuga es directamente proporcional al cubo del valor económico de los daños colaterales que el vapor pueda producir en el entorno. En otras palabras, no se puede dejar de considerar que los efectos de una fuga afectan no solo al punto del circuito en que se produce, sino que con mucha frecuencia causan daños en otros elementos de la caldera que se encuentran en las proximidades.

Por estas razones se recomienda tomar en cuenta con suma urgencia las pérdidas de vapor, que actualmente sufre el sistema de tuberías de dicho hospital.

Durante la inspección a las instalaciones se detectaron los siguientes puntos de la tubería con fugas de vapor.

- Manifold de distribución de vapor
Es el que recibe el vapor de la caldera y lo distribuye hacia los puntos de consumo.
 - Salidas hacia lavandería, llave de compuerta
 - Salidas hacia cocina, llave de compuerta
 - Salidas hacia el tanque de agua caliente, llave de compuerta
 - Salidas hacia la central de equipos, llave de compuerta
 - Entrada de vapor al manifold, tramo de tubería que conduce hacia la trampa de vapor.

- Entrada al precalentador de bunker, tramo de tubería
- En la rosca de un nicle previo a la entrada de autoclaves
- En la llave de compuerta, del tanque de agua caliente
- En tramo de la tubería en la salida de la caldera hacia el manifold

Tabla X. **Consumo promedio mensual de bunker en gls**

Mes	Consumo de bunker Gls / mes	Costo de bunker Q / año	Costo de bunker Q / galón	Tipo de cambio Q / \$
Enero	4 762	57,239.24	12,02	7,774
Febrero	4 127,6	49,613.75	12,02	7,90267
Marzo	4 822,5	57,966.45	12,02	8,03068
Abril	4 640,2	55,775.2	12,02	8,08562
Mayo	4 830,0	58,056.6	12,02	8,08371
	Prom=4 636,46	Prom=55 730,25	Prom =12,0202	Prom=7,975

Fuente: elaboración propia.

Presión del vapor en la salida de la caldera _____ 100 psig

Temperatura del agua de alimentación _____ 99 °F

Eficiencia de la caldera _____ 82,56 %

Eficiencia de combustión _____ 85,63 %

Pérdidas por radiación _____ 3,04 %

Tiempo efectivo de trabajo de la caldera _____ 10 horas

Producción de vapor promedio _____ 1 707,2 Lb/hora de vapor

Temperatura del ambiente _____ 80 °F

Eficiencia inicial = 82,56 %-3,04 % = 79,52 %

Eficiencia inicial: = Eficiencia de la caldera – pérdidas por radiación

Eficiencia mejorada _____ 85 54 %

Consumo de bunker _____ 55 637,52 gls/año

Poder calorífico del bunker _____ 150 000 Btu/Lb

Entalpía del vapor (Hg) _____ 1 187,8 Btu/Lb

Entalpía del agua de alimentación Hf _____ 67,37 Btu/Lb

Costo del bunker/galón = 12,0202 Q/galón

Cálculos para la eficiencia de la caldera

Evap/galón bunker quemado

Evap/galón bunker quemado = vapor generado/combustible consumido

$$= 1\,707,72 \text{ Lb/hora} / 15,45 \text{ gls/hora} = 110,53 \text{ Lb vapor/galón}$$

El calor o entalpía de 1 libra de vapor es:

$$P = 100 \text{ psig} \quad \text{_____} \quad 1\,187,8 \text{ Btu/Lb}$$

Temperatura agua alimentación $T = 99^\circ\text{F}$ su contenido de calor es 67,37 Btu/lb

El calor puesto en cada libra de vapor reducido por la caldera es:

$$1\,187,8 \text{ Btu/Lb} - 67,37 \text{ Btu/Lb} = 1\,120,43 \text{ Btu/Lb}$$

El calor dado a las 110,53 Lb vapor/ galón es:

$1\,120,43 \text{ Btu/Lb} * 110,53 \text{ Lb vapor/gal. bunker} = 123\,841,13 \text{ Btu/gl de bunker}$

Eficiencia de la caldera =

(Calor dado a 110,53 Lb vapor/galón bunker)/(Poder calorífico del bunker)

Eficiencia de la caldera =
 $(123\ 841,13 \text{ Btu/galón bunker}) / (150\ 000 \text{ Btu/galón bunker}) * 100 =$
82,56 %

Eficiencia de la caldera = 82,56 %

Consumo de bunker anual = 4 636,46 gls/mes * (12 meses / 1 año) =

Consumo de bunker anual 55 637,52 gls/año

Ahorro anual de bunker = (CB/año) (1- Efi/Efm) * costo del bunker

CB/año = consumo de bunker/año = 55 637,52 gals/año

Efi = eficiencia inicial = 79,52 %

Costo del bunker/galones = 12,0202 Q/galones

= (55 637,52 gls/año) (1 – 79,52 %/85,54 %) * 12,02202 Q/galón

= 47 073,061 Q/año

Este mismo valor expresado en dólares basado al tipo de cambio de 7,975 Q / \$ da como resultado 5 902,58 \$/año, que es igual a 3 896,057 galones / año.

Energía que el combustible proporciona según la eficiencia de la caldera.

$Hg-hf/Efi = 1\ 187,8 \text{ Btu / Lb} - (67,37 \text{ Btu/Lb} / 79,52 \text{ Btu/Lb/} 100) = 1\ 187$
Btu/Lb

El costo de la energía del combustible es:

Costo del combustible/poder calorífico = (12,0202 Q/galón) /150 000
Btu/galón

$$= 8,01 * 10^{-5} \text{ Q/Btu} = 80,1 \text{ Q/MBtu}$$

El costo de la energía por libra es:

(Costo de energía del combustible) * (Energía que proporciona el combustible)

$$(8,01 * 10^{-5} \text{ Q/Btu}) (1\ 187,95 \text{ Btu/Lb}) = 0,095 \text{ Q/Lb}$$

Costo de vapor producido/hora es:

(Vapor producido) (Costo de energía por libra) = (1 707,72 Lb/hora) (0,095 Q/Lb) = 162,23 Q/hora

Según los datos anteriores se erogan

162,23 Q/hora de vapor con una eficiencia de 79,52 %

Pérdidas por fugas de vapor

Longitud de pluma de 3 pies (Btu/Lb)

$$P = 100 \text{ psig} \quad \text{hg} = 1187,8 \text{ Btu / Lb} \quad \text{hf} = 67,37 \text{ Btu/Lb}$$

Tiempo de operación del equipo = 10 horas/día = 3 650 horas/año

$$\text{Costo de la energía} = 80,1 \text{ Q/MBtu} = 8,01 * 10^{-5} \text{ Q/Btu}$$

$$\text{Temperatura agua alimentación} = 99 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

El costo por cada 1 000 Lb de vapor es:

$$80,1 \text{ Q/MBtu} * (1\ 187,8 - 67,37) \text{ Btu/Lb} = 89\ 746,44 \text{ QBtu / (MBtu*lb)}$$

$$89\ 746,44 \text{ QBtu / (MBtu*lb)} * (1 \text{ MBtu} / 1\ 000\ 000 \text{ Btu}) =$$

$$89\ 746,44 \text{ Q} / 1\ 000 * 1\ 000 \text{ Lb} = 89,75 \text{ Q} / 1\ 000 \text{ Lb}$$

$$89,75 \text{ Q}/1\ 000 \text{ Lb} * (1\$ / 7,975 \text{ Q}) = 11,25 \text{ dólares}/1\ 000 \text{ Lb}$$

De la figura 9 se tiene que para una longitud de pluma de 3 pies y un costo de 11,25 \$ / 1 000 Lb de vapor el costo anual de energía por fuga es aproximadamente igual a \$ 3 500/ año según el tiempo de operación.

$$\begin{aligned} & \$ 3\ 500/ \text{ año} * (3\ 650 \text{ h}/ \text{ año}) / (8\ 760 \text{ h}/ \text{ año}) = 1\ 458,33 \text{ \$/año} \\ & 1\ 458,33 \text{ \$/año} * \text{Q } 7,975/1\$ = 11\ 630,21 \text{ Q/año.} \end{aligned}$$

Longitud de pluma de 2 pies

$$\begin{aligned} P &= 100 \text{ psig} \quad \text{hg} = 1\ 187,8 \text{ Btu} / \text{Lb} \quad \text{hf} = 67,37 \text{ Btu}/\text{Lb} \\ \text{Tiempo de operación del equipo} &= 10 \text{ horas}/\text{día} = 3\ 650 \text{ horas}/\text{año} \\ \text{Costo de la energía} &= 80,1 \text{ Q}/\text{MBtu} = 8,01 * 10^{-5} \text{ Q}/\text{Btu} \\ \text{Temperatura agua alimentación} &= 99 \text{ }^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

El costo por cada 1 000 Lb de vapor es:

$$\begin{aligned} & 80,1 \text{ Q}/\text{MBtu} * (1\ 187,8 - 67,37) \text{ Btu}/\text{Lb} = 89\ 746,44 \text{ QBtu} /(\text{MBtu} * \text{lb}) \\ & 89\ 746,44 \text{ QBtu} /(\text{MBtu} * \text{lb}) * (1 \text{ MBtu}/1\ 000\ 000 \text{ Btu}) = \\ & 89\ 746,44 \text{ Q} / 1\ 000 * 1\ 000 \text{ Lb} = 89,75 \text{ Q} /1\ 000 \text{ Lb} \end{aligned}$$

$$89,75 \text{ Q}/1\ 000 \text{ Lb} * (1\$ / 7,9750 \text{ Q}) = 11,25 \text{ dólares}/1\ 000 \text{ Lb}$$

De la figura 9 se tiene que para una longitud de pluma de 2 pies y un costo de 11,25 \$ / 1 000 Lb de vapor el costo anual de energía por fuga es aproximadamente igual a \$ 2 300/ año según el tiempo de operación.

$$\begin{aligned} & \$ 2\ 300/ \text{ año} * (3\ 650 \text{ h}/ \text{ año}) / (8\ 760 \text{ h}/ \text{ año}) = 958,33 \text{ \$/año} \end{aligned}$$

$$958,33 \text{ \$/año} * 7,975 \text{ Q/1\$} = 7\,642,68 \text{ Q/año}$$

Debido a que son tres fugas con la misma longitud de pluma, el costo total anual para las 3 fugas es:

$$958,33 \text{ \$/año} * 3 = 2\,874,99 \text{ \$/año}$$

$$2\,874,99 \text{ \$/año} * (7,975 \text{ Q} / 1\$) = 22\,928,045 \text{ Q/año}$$

Longitud de pluma de 1 pie

$$P = 50 \text{ psig} \text{ ______ hg} = 1\,174,4 \text{ Btu} / \text{Lb} \text{ ______ hf} = 67,37 \text{ Btu/Lb}$$

Tiempo de operación del equipo = 10 horas/día = 3 650 horas/año

$$\text{Costo de la energía} = 80,1 \text{ Q/MBtu} = 8,01 * 10^{-5} \text{ Q/Btu}$$

$$\text{Temperatura agua alimentación} = 99 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

El costo por cada 1 000 Lb de vapor es:

$$80,1 \text{ Q/MBtu} * (1\,174,4 - 67,37) \text{ Btu/Lb} = 88\,673,10 \text{ QBtu} / (\text{MBtu} * \text{lb})$$

$$88\,673,10 \text{ QBtu} / (\text{MBtu} * \text{lb}) * (1 \text{ MBtu} / 1\,000\,000 \text{ Btu}) =$$

$$88\,673,10 \text{ Q} / 1,000 * 1\,000 \text{ Lb} = 88,67 \text{ Q} / 1\,000 \text{ Lb}$$

$$88,67 \text{ Q} / 1\,000 \text{ Lb} * (1\$ / 7,975 \text{ Q}) = 11,11 \text{ dólares} / 1\,000 \text{ Lb}$$

De la figura 9 se tiene que para una longitud de pluma de 1 pie y un costo de 11,11 \$ / 1 000 Lb de vapor el costo anual de energía por fuga es aproximadamente igual a 1 160 \$/ año según el tiempo de operación.

$$1\,160 \text{ \$/ año} * (3\,650 \text{ h} / \text{año}) / (8\,760 \text{ h/año}) = 483,33 \text{ \$/año}$$

$$483,33 \text{ \$/año} * Q 7,975/1\$ = 3 854,56 \text{ Q/año}$$

Longitud de pluma de 1 pie

$$P = 100 \text{ psig} \quad \text{hg} = 1 187,8 \text{ Btu / Lb} \quad \text{hf} = 67,37 \text{ Btu/Lb}$$

$$\text{Tiempo de operación del equipo} = 10 \text{ horas/día} = 3 650 \text{ horas/año}$$

$$\text{Costo de la energía} = 80,1 \text{ Q/MBtu} = 8,01 * 10^{-5} \text{ Q/Btu}$$

$$\text{Temperatura agua alimentación} = 99 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

El costo por cada 1 000 Lb de vapor es:

$$80,1 \text{ Q/MBtu} * (1 187,8 - 67,37) \text{ Btu/Lb} = 89 746,44 \text{ QBtu / (MBtu*lb)}$$

$$89 746,44 \text{ QBtu / (MBtu*lb)} * (1 \text{ MBtu} / 1 000 000 \text{ Btu}) =$$

$$89 746,44 \text{ Q} / 1 000 * 1 000 \text{ Lb} = 89,75 \text{ Q} / 1 000 \text{ Lb}$$

$$89,75 \text{ Q} / 1 000 \text{ Lb} * (1\$ / 7 975 \text{ Q}) = 11,25 \text{ dólares} / 1 000 \text{ Lb}$$

De la figura 9 se tiene que para una longitud de pluma de 1 pie y un costo de 11,25 \$ / 1 000 Lb de vapor el costo anual de energía por fuga es aproximadamente igual a 1 160 \$/ año según el tiempo de operación.

$$1 160\$/ \text{ año} * (3 650 \text{ h} / \text{ año}) / (8 760 \text{ h/año}) = 483,33 \text{ \$/año}$$

$$\text{En dólares el resultado es: } 483,33 \text{ \$/año} * Q 7,975/1\$ = 3 854,56 \text{ Q/año.}$$

El total de pérdidas por fugas de vapor en quetzales es:

$$\text{Long. pluma de 3 pies} + \text{Long. pluma de 2 pies} * 3 + \text{Long. pluma de 1 pie} + \text{Long pluma de 1 pie} * 4 \text{ es:}$$

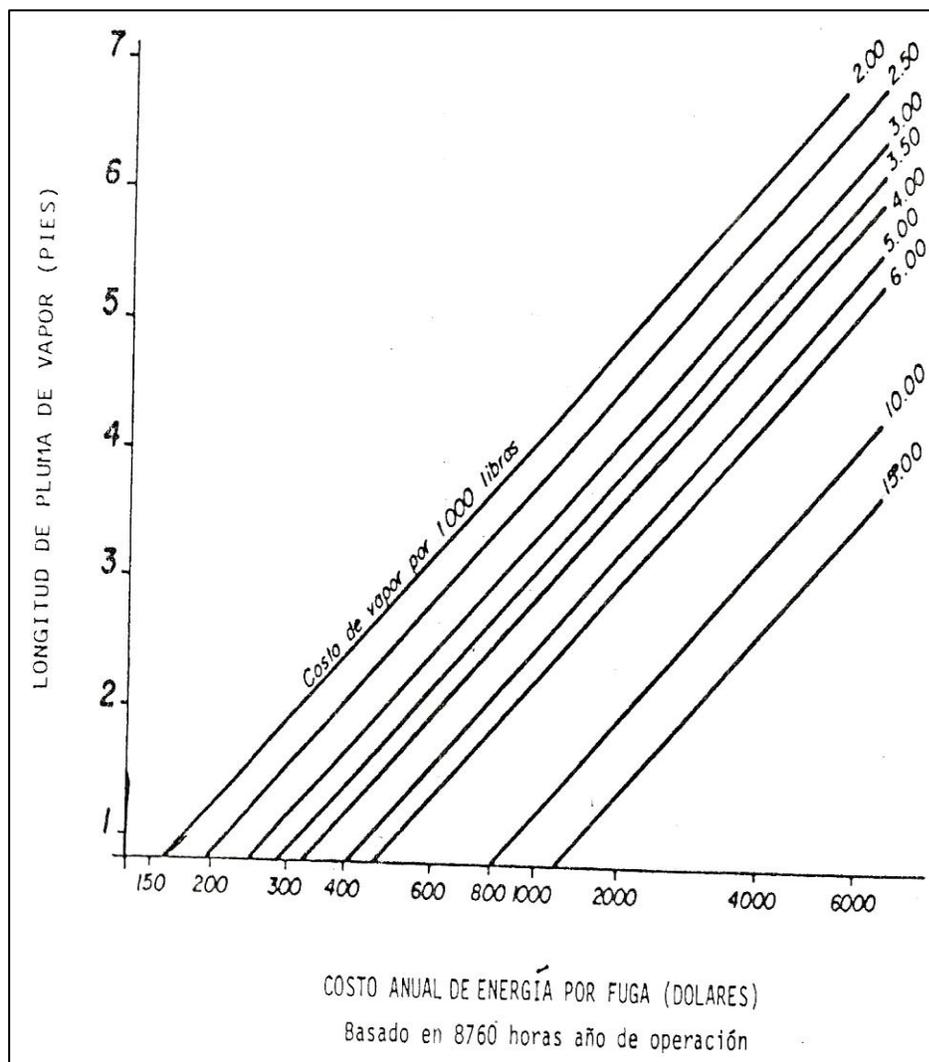
$$(11\ 630,21 + 7\ 642,68 * 3 + 3\ 854,56 + 3\ 854,56 * 4)Q / \text{año} = 53\ 831,05$$

Q / año

El total de pérdidas por fugas de vapor en dólares es:

$$(1\ 458,33 + 958,33 * 3 + 483,33 + 483,33 * 4) \$ / \text{año} = 6\ 749,97 \$ / \text{año}$$

Figura 9. Costo anual de energía por fuga de vapor



Fuente: Optimización de los recursos de vapor y agua potable del hospital general Dr. Juan José Arévalo Bermejo.

3.1.4. Ubicación y tipos de trampas de vapor

Juicio y experiencia son a menudo elementos importantes para obtener los mejores resultados en las trampas de vapor, sin embargo, un conocimiento verdaderamente efectivo y la habilidad para desarrollar y mantener una actividad eficiente en cuanto a la instalación o montaje de las trampas de vapor.

De acuerdo a los diferentes tipos de trampas de vapor, existen cuatro pasos en la aplicación correcta de trampas en un sistema.

- Ubicación adecuada
- Selección apropiada
- Capacidad adecuada
- Instalación correcta

Para el sistema del hospital del IGSS de Escuintla, la ubicación de trampas viene a fortalecer, para este caso se recomiendan dos categorías: procesos y protección de línea.

- Procesos

En el proceso las trampas drenan el condensado que se forma al utilizarse el vapor. Los procesos comunes son:

- Calentamiento de un líquido (marmitas, intercambiadores de concha y tubo).
- Calentamiento de un gas (precalentamiento de aire, serpentines de calefacción, secadores, entre otros).

- Calentamiento de un sólido (secadores de tambor).
- Calentamiento directo de sólidos (autoclaves).

Estas aplicaciones favorecen al sistema del centro hospitalario ya que se caracterizan por presiones normalmente menores de 125 PSI (0,86 Mpa), las cuales varían debido a la carga fluctuante del proceso. Por la misma razón, las cargas de condensado son también variables, especialmente en los procesos por tandas. En este caso la descarga de aire y de gases no condensables es muy importante y puede implicar volúmenes grandes de estos gases.

La ubicación normal de las trampas en todos estos casos es inferior al nivel del equipo de proceso. Es importante recordar que en el proceso cada equipo tiene su propia trampa, para ello nunca se deben drenar dos equipos con la misma trampa.

- Protección de líneas

Para este caso existen dos aplicaciones de trampas en lo que a protección de líneas se refiere. La primera es el drenaje de condensados que se forman en las líneas de distribución de vapor debido al enfriamiento ambiental. La segunda aplicación es en las líneas “*tracer*” o sea líneas de vapor normalmente de media pulgada, que se instalan contiguas a tuberías de distribución de fluidos que se necesitan mantener a cierta temperatura.

En estas aplicaciones, especialmente en drenajes de tuberías principales y ramales de vapor, las presiones encontradas son normalmente más altas que en el proceso y son mucho más constantes. Las cargas de

condensados son muy constantes también, con la excepción de acumulación alta de condensado al arrancar un sistema frío. La descarga de aire es importante solamente durante el arranque. Durante la operación del sistema, la carga de condensado es muy baja y no existe necesidad de descargar aire y gases no condensables.

Para la ubicación de trampas en el sistema se recomienda instalarse en cada punto del sistema antes de cada punto principal:

- Abajo del punto de drenado siempre que sea posible
 - Antes de cada válvula principal
 - Antes de cada elevación de la tubería
 - En cada terminación de un ramal

- Accesible para ser inspeccionada y ser reparada

Si no existe ninguna de estas condiciones en un tramo de tubería, se recomienda instalar una trampa entre 50 y 75 metros aproximadamente.

Los tipos de trampas de vapor se mencionan en la sección 2.2.2.

3.2. Mantenimiento en operación

Prestar atención al mantenimiento y operación es la llave del éxito ya que procedimientos inadecuados pueden producir desgaste en los equipos a través del desajuste de sus componentes, uno de estos problemas puede ser la incrustación de la tubería como resultado de un inadecuado tratamiento del agua de la caldera y de los gases de combustión. Una caldera a la que no se le

ha dado mantenimiento por dos años, es posible que inmediatamente se le pueda obtener un incremento de eficiencia de 20 a 30 por ciento debido a problemas que causa el agua dura y el hollín tanto en la tubería como en los accesorios del quemador. A continuación se enlistan algunos ejemplos de oportunidades que pueden ser realizadas:

- Tratamiento de agua. Si el agua de alimentación de la caldera no es tratada adecuadamente, las incrustaciones pueden reducir su eficiencia tanto como 10 – 12 por ciento y puede, incluso, ser peligroso para la instalación.
- Retorno de condensados. Adicionalmente se requiere entre 15 a 18 por ciento de la energía de la caldera desde el sistema de generación y distribución de vapor para recalentar cada libra de agua fría de repuesto.
- Controladores de carga. Sistemas de control distribuido digital basados en computadoras proveen una confiabilidad tal que pueden alargar la vida útil de la caldera. Controles de quemadores múltiples se pueden acoplar con el control de ajuste de aire lo que puede dar como resultado ahorros de combustible de 3 a 5 %.

Para el mantenimiento en operación es importante poner atención a lo siguiente:

- Revisar las trampas de vapor y asegurarse de que los condensados son retornados eficientemente.

Cuidar el sistema de distribución de vapor da una de las mejores oportunidades de ahorrar.

El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y el revisar que no existan fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión de capital muy pequeña o casi nula. Dar entrenamiento cuidadosamente completo y a la vez apropiado al personal de mantenimiento siempre será una buena inversión.

- Fugas de vapor. En un sistema de distribución descuidado siempre se encontrarán fugas en las tuberías, en válvulas, en los equipos de proceso, en las trampas de vapor, en las bridas o conexiones especiales. Eliminar fugas es una oportunidad de ahorrar energía y dinero, además, esto es muy simple y el costo es muy bajo y muchas veces el hacerlo no cuesta nada.
- Trampas de vapor. Cuando no se tiene un programa de mantenimiento para las trampas de vapor, es común encontrar en la instalación de 15 a 20 % de las trampas funcionando inadecuadamente todo el tiempo.
- Aislamientos. Instalaciones Industriales auditadas bajo el programa del Centro de Asistencia Industrial del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), han demostrado un rango de ahorros potenciales desde 3 por ciento hasta valores tan altos como 13 por ciento del total de gas natural utilizado en promedio. Al instalar aislamientos, una planta puede dejar de consumir aproximadamente 6 000 lb/hr y puede bajar la cantidad de combustible utilizado, reducir las emisiones de CO₂ en un 6 por ciento y lograr recuperar la inversión en un tiempo relativamente corto.

Para el cuidado del sistema de distribución de vapor se recomienda lo siguiente:

- Establecer un programa para regular la inspección, prueba y reparación de las trampas de vapor. El personal de mantenimiento y de operación deberá ser entrenado adecuadamente con las técnicas necesarias para hacer pruebas a las trampas de vapor. Cuando se requiera hacer pruebas de ultrasonido, se debe contratar el personal adecuadamente entrenado.
- Revisar que no existan fugas de vapor en las tuberías y sus accesorios.
- Revisar el funcionamiento de las válvulas de control.
- Mantener un sistema rutinario para identificar líneas de vapor que son poco o rara vez utilizadas y que puedan ser removidas del servicio.

3.2.1. Control de operación diaria

La demanda diaria de energía para el servicio hospitalario es cada vez más costosa. Su explosiva demanda requerida para el desarrollo de una sociedad en crecimiento demográfico exponencial del departamento de Escuintla, y el agotamiento de recursos energéticos hace que el control de la operación de las calderas sea diario.

Los programas de control son más eficientes si se hacen a diario, ya que esto ayudaría a optimizar el consumo, los costos de operación y mantenimiento. Se ha demostrado repetidamente que algunas medidas de conservación pueden reducir el consumo energético entre un 15 a 30 %, convirtiéndose esta actividad en una de las inversiones más lucrativas tanto para el sector industrial como para el comercial.

Es necesario anotar que el término conservación o ahorro de energía no corresponde al sentido de restricción o racionamiento en el consumo requerido,

se refiere a su utilización óptima a través de prácticas de mantenimiento y operación.

A continuación se describen algunas recomendaciones para el control diario de las calderas y de la red de distribución de vapor del hospital del IGSS del departamento de Escuintla.

- Conocer el equipo, guardar el manual de mantenimiento del equipo en un archivo especial y asegurarse que esta información pueda ser consultada por el equipo de mantenimiento cuando sea necesario.
- Mantener un registro en cuanto al historial de mantenimiento completo de los equipos y accesorios tanto de la red de vapor como de la caldera datos técnicos de cada uno de ellos, fecha de instalación y fecha de reparación de cada uno de ellos.
- Establecer un calendario de inspecciones reguladas.
- Establecer y mantener actualizados los procedimientos de operación descritos.
- Mantener el equipo eléctrico en buen estado.
- Enfatizar el orden y limpieza en el cuarto de calderas, de la red de distribución y de todos los equipos.
- Mantener una fuente de aire adecuada. Los filtros siempre deben permanecer limpios, si el ambiente se torna frío debido al clima, el cuarto necesita ser calentado para mantener una temperatura aceptable.
- Mantener los registros de consumo de combustible.
- Enfatizar en todos los aspectos la seguridad e higiene en la operación.
- Chequeo del nivel de agua de alimentación y control de purgas.
- Chequeo visual de combustión.
- Tratar el agua de acuerdo con el programa establecido.
- Registro de temperatura y presión de operación diaria.

- Chequeo general del funcionamiento de la caldera.
- Hacer fichas de control para los equipos, caldera y red de distribución.

3.2.2. Fichas de control de la caldera

A medida que el tamaño y capacidad de la caldera aumenta, la posibilidad de una parada forzosa puede resultar de una rotura de tubos o de una explosión, entonces es importante prevenir fallas en la caldera por tal razón se debe llevar un control mediante inspecciones visuales, para tener certeza de que todas las partes y zonas de la caldera tanto interiores como exteriores estén controladas o inspeccionadas.

Las calderas se ven afectadas por las condiciones de servicio durante la marcha se pueden producir erosiones, roturas desgastes y otros deterioros metálicos por efecto del mismo servicio o una variación de temperatura alta.

Para tener el control diario de las calderas del hospital del IGSS de Escuintla es necesario llevar un archivo de las inspecciones realizadas.

El encabezado describe el asunto, la fecha de supervisión, el núm. de caldera, el nombre y firma del supervisor o quien realiza la inspección en cada jornada laboral y la hora de la supervisión realizada.

Los datos siguientes se deben incluir en la ficha de control para que sean tomadas en cuenta en el momento de la inspección.

Inspecciones recomendadas a las calderas de vapor

- Nivel correcto de agua.

- Presión de vapor: se coloca la lectura del manómetro, esta lectura depende de la demanda.
- Presión del agua de alimentación.
- Temperatura del agua de alimentación.
- Temperatura de los gases de combustión.
- Funcionamiento correcto de la bomba de agua de alimentación.
- Funcionamiento correcto del quemador.
- Purga de la caldera realizada.
- Presión del bunker: lectura del manómetro que indica la presión a la cual la bomba impulsa el bunker.
- Temperatura del bunker.
- Temperatura de chimenea: indicación de la temperatura de salida de los gases, la cual es importante para revisar los niveles de exceso de aire, oxígeno y combustible.

Finalmente hay una sección para observaciones, para que sea considerada de acuerdo, al criterio del supervisor. A continuación se describe en una ficha de control diario de la caldera.

Tabla XI. **Supervisión diaria de calderas**

Control de calderas		
Núm. caldera: _____ Fecha de supervisión: _____		
Nombre del supervisor: _____ Firma del supervisor: _____		
Hora de supervisión: _____		
INSPECCIÓN REALIZADA	JORNADA MATUTINA	JORNADA VESPERTINA
Nivel correcto del agua		
Temperatura de chimenea (°F)		
Presión de vapor (psi)		
Presión de agua de alimentación (Psi)		
Temperatura del agua de alimentación (°F)		
Temperatura de los gases de combustión (°F)		
Funcionamiento correcto de bomba de agua de alimentación		
Funcionamiento correcto del quemador		
Purga realizada		
Temperatura del bunker (°F)		
Presión del bunker (Psi)		
Observaciones:		

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Inspección de fugas en la tubería y sus accesorios

La existencia de fugas que actualmente se encuentran en el sistema de vapor del hospital del IGSS de Escuintla, genera no solo pérdida en el rendimiento del sistema sino que también repercusiones económicas en cuanto a pérdida de combustible, energía eléctrica como también desgaste en los accesorios de la red de vapor.

Dado el nivel de presiones que actualmente se manejan en los circuitos de las calderas de vapor, normalmente empieza una fuga, como un pequeño agujero en la tubería por el que empieza a salir un chorro de vapor, pero este aumenta de tamaño en caso de que se le deje mucho tiempo sin tratar.

Una propiedad común de toda fuga de vapor es la generación del sonido, esto con el tiempo se convierte en un ruido. Este ruido producido por las fugas se propaga tanto por el aire como por la estructura de la tubería, siendo posible detectar la presencia de fugas en los diversos puntos. Sin embargo, en cualquier sistema hay que considerar la presencia de otros sonidos que interfieren en el proceso de detección por ejemplo el ruido de la combustión, ventiladores, compresores, entre otros.

Las fugas expuestas a continuación, justifican la necesidad de disponer de procedimientos de inspección, así como métodos de prevención y corrección de las mismas. A continuación se presentan los puntos donde se detectaron las fugas y como corregirlas.

- Manifold de distribución
 - Salidas hacia lavandería, llave de compuerta.
 - Salidas hacia cocina, llave de compuerta.
 - Salidas hacia el tanque de agua caliente, llave de compuerta.
 - Salidas hacia la central de equipos, llave de compuerta.
 - Entrada de vapor al manifold, tramo de tubería que conduce hacia la trampa de vapor.

- Entrada al precalentador de bunker, tramo de tubería
- En la rosca de un niple previo a la entrada de autoclaves
- En la llave de compuerta, del tanque de agua caliente

- En tramo de la tubería en la salida de la caldera hacia el manifold

3.2.4. Inspección de trampas de vapor

Los crecientes costos de la energía han hecho que el vapor sea un servicio muy costoso para desperdiciar. Estudios realizados han encontrado que en una planta típica entre un 30 y un 40 % de sus trampas de vapor no funcionan correctamente. Los problemas ocasionados por las trampas defectuosas van desde bajas eficiencias térmicas por condensado en el vapor hasta golpe de ariete.

Utilizando una inspección minuciosa se puede determinar claramente si existe o no flujo de vapor pues el flujo turbulento genera onda. Adicionalmente utilizando el mismo principio se pueden inspeccionar válvulas con problemas.

Para la inspección de las trampas de vapor se recomienda que, siempre que falle una trampa de vapor y no existe una razón aparente para esa falla, se debe observar cuidadosamente la descarga de la trampa. Esta es una tarea sencilla si es que la trampa se ha instalado con una salida para pruebas; si este no es el caso, entonces será necesario desconectar la tubería de salida para observar la descarga. Los siguientes enunciados ayudan a determinar la situación:

- Trampa fría y sin descarga

Si la trampa no está descargando ningún condensado, entonces:

- La presión puede ser demasiado alta
 - Se especificó la presión incorrecta para su selección.

- La válvula reguladora no funciona correctamente.
 - El orificio se ha hecho más grande debido al desgaste normal.
 - Un alto vacío en las tuberías de retorno incrementa la presión diferencial más allá de la máxima permitida para la trampa.
- No llega condensado o vapor a la trampa
 - El filtro antes de la trampa está tapado
 - Fugas en la tubería de entrada a la trampa
 - Tubería o codos tapados
 - Mecanismo desgastado o defectuoso
 - Se debe reparar o reemplazar, lo que sea necesario.
 - El cuerpo de la trampa está lleno de suciedad
 - Se debe instalar un filtro, o remover la suciedad en donde se está generando.
 - Para trampas IB (balde invertido), el venteador en el balde está lleno de suciedad. Se evita mediante:
 - La instalación de un filtro
 - Aumento ligero del tamaño del venteador
 - El uso de un alambre limpiador en el venteador del balde
 - Para trampas F y T (flotadoras y termostáticas)
 - Si el venteador de aire no está funcionando en forma correcta. es muy probable que está trabado por el aire.

- Para trampas termostáticas
 - Parte del fuelle se puede romper debido a impacto hidráulico, lo que causaría que la trampa falle cerrada.
- Para trampa de disco
 - Puede ser que la trampa se instaló invertida.
- Trampa caliente y sin descarga
 - No está llegando condensado a la trampa
 - La trampa se instaló más arriba que una válvula de *bypass* con fuga.
 - El tubo de drenaje por sifón en un tanque está roto o dañado.
 - Vacío en el serpentín del calentador de agua evita el drenaje. Se debe instalar un rompedor de vacío entre el intercambiador de calor y la trampa.
- Pérdida de calor

Si la trampa está dejando escapar vapor vivo, se puede deber a cualquiera de los siguientes problemas:

- La válvula no cierra en su asiento.
 - Pedazo de óxido incrustado en el orificio
 - Partes desgastadas
- Trampas IB pierden su ciclo

- Si la trampa está descargando vapor vivo. Cerrar la válvula de entrada por unos minutos. Volver a abrir gradualmente. Si la trampa recupera su ciclo de operación entonces muy probablemente la trampa no tiene ningún problema.
 - Típicamente la pérdida de calor en una trampa se debe a cambios frecuentes y repentinos en la presión del vapor. En estos casos se recomienda la instalación de una válvula *check*. Cuando sea posible se debe instalar la trampa muy por debajo del punto de drenado.
- Flujo continuo

Si una trampa IB o una de disco está descargando continuamente, o si una trampa FyT o una termostática descarga a su máxima capacidad, se debe de chequear lo siguiente:

- Trampa demasiado pequeña
 - Una trampa más grande, o trampas adicionales, se debe instalar en paralelo.
 - Trampas para altas presiones se pueden estar utilizando en aplicaciones a baja presión. Instalar un mecanismo interno del tamaño adecuado o cambiar a la trampa adecuada.
- Agua en condiciones anormales
 - La caldera, al estar formando espuma o al estar sobrecargada, lanza grandes cantidades de agua en las tuberías del vapor. Se debe instalar un separador o se

deben corregir las condiciones del agua de alimentación a las calderas.

- Calentamiento lento

Cuando la trampa está operando de manera correcta pero la unidad no calienta de forma adecuada, entonces:

- Una o más de las unidades están en cortocircuito. La solución es instalar una trampa en cada unidad.
- Las trampas pueden ser demasiado pequeñas para la aplicación dada, aún cuando parezca que está descargando el condensado de una manera eficiente. Se debe instalar una trampa de más capacidad.
- La trampa tiene capacidad insuficiente para lidiar con el aire presente, o el aire puede no estar llegando hasta la trampa. En ambos casos se debe usar un venteador de aire adicional.

- Problemas misteriosos

Si la trampa está funcionando de manera satisfactoria cuando descarga a la atmósfera, pero se tienen problemas cuando su descarga se conecta a una tubería de retorno, se debe de chequear lo siguiente:

- La contrapresión puede estar disminuyendo de capacidad de la trampa
 - La tubería de retorno es demasiado pequeña – trampa caliente.
 - Otras trampas están descargando vapor – trampa caliente.

- El venteador atmosférico en el receptor del condensado está tapado – trampa fría o caliente.
 - La tubería de retorno está obstruida – trampa caliente.
 - Vacío excesivo en la tubería de retorno – trampa fría.
- Problemas imaginarios

Si se tiene la impresión de que se está escapando vapor cada vez que la trampa descarga, recordar que: el condensado caliente genera vapor *flash* al ser descargado a una presión menor, pero generalmente se condensa más rápido en la tubería de retorno.

3.3. Mantenimiento fuera de operación

Mediante este estudio se evalúan todos los componentes del sistema de generación y distribución del vapor a la planta y el sistema de retorno del condensado. Con este estudio se encuentran las oportunidades de ahorro, uso y administración de la energía y por ende ahorro en los costos operativos, mejorar la calidad del vapor y mayor productividad.

Los temas que se recomiendan en este estudio son:

- Evaluar detalladamente el sistema para determinar las oportunidades de mejora en:
 - Selección y distribución de tuberías
 - Purga del condensado de tuberías y equipos
 - Instalación y selección de trampas
 - Aprovechamiento de condensado y aislamiento térmico
 - Corrección de fugas

- Codificación e identificación de las trampas para vapor en sitio con placa de acero inoxidable, así como la codificación para identificar las tuberías de distribución de servicio de vapor.
- Redacción de reporte donde se describen y se cuantifican los problemas encontrados y las respectivas propuestas para la solución del mismo. En los casos donde se amerite, se tomarán fotografías para tener el reporte de la falla y se hará un esquema para ilustrar la solución a dicha falla, incluyendo la selección de los equipos necesarios para este fin.

Entre los beneficios más importantes que el hospital del IGSS de Escuintla tendrá se destacan:

- La descripción total del sistema de vapor y condensado e identificación de las oportunidades de mejora.
- La solución a los problemas encontrados de acuerdo a un criterio técnico confiable.
- Importantes mejoras en el sistema que redundarán en grandes beneficios económicos, aumentando la productividad de su planta por la reducción de los costos operacionales.
- Mayor eficiencia en los servicios de vapor.
- La programación de las actividades de mantenimiento correctivo.

Con el mantenimiento fuera de operación, que en este caso solo se toma en cuenta a la caldera, el cual es mantenimiento correctivo, se tiene como resultado oportunidades de ahorro en los costos operativos, mejor calidad de vapor, mejor administración de la energía para el ahorro de costos de toda la red de vapor, mayor productividad, y ahorro del combustible.

Los siguientes aspectos deben tomarse en cuenta para el ahorro de costos de la red de distribución de vapor.

- Chequeo de trampas y componentes del sistema.
- Identificación de trampas fallando con etiqueta “Reporte de Falla”.
- Revisión de la instalación (aislamientos térmicos, tuberías, entre otros) reporte de fallas.
- Auditoría de fugas e identificación en sitio con etiqueta “Reporte de Falla”.
- Mantenimiento menor (purga del sistema).
- Emisión de reporte de operación de trampas, apoyándose en ilustraciones gráficas (fotos) y dibujos esquemáticos para la descripción de fallas.
- Programa de mantenimiento para la solución a los problemas encontrados.
- Actualización de los planos del sistema de vapor y condensado.
- Entrenamiento del personal un curso semestral, incluye material de apoyo para cada participante, los temas que se proponen son:
 - “Trampas Selección y mantenimiento” dirigido al personal de mantenimiento.
 - “Uso eficiente del vapor” dirigido a todo el personal de planta Ingenieros, supervisores, operadores.
 - “Operación de la sala de calderas” dirigido a supervisores, ingenieros responsables de la sala de calderas, personal de mantenimiento y operadores de calderas.
 - Entrenamiento del personal un curso semestral, incluye material de apoyo para cada participante, los temas que se proponen son:

- Chequeo del funcionamiento y operación de equipos que operan con vapor.

Todo entrenamiento baja los costos, y se toma como una inversión, paralelamente a esto se obtiene los beneficios siguientes:

- El control del sistema de vapor auditado por especialistas.
- Se obtienen registros estadísticos del sistema, primordial para los programas de mantenimiento preventivo.
- Se evitan actividades de mantenimiento innecesarias o cambios de trampas que pueden resultar costosos.
- Los reportes facilitan la programación de las actividades de mantenimiento correctivo, jerarquizando de acuerdo a sus prioridades.
- Mayor eficiencia en las actividades de mantenimiento.
- Lo más importante es, permitir que los clientes (cocina, lavandería y central de equipos), se dediquen a lo que realmente es la razón de ser de su trabajo.

Las propuestas de este trabajo son: mejorar la eficiencia del sistema de generación y distribución de vapor del hospital de IGSS de Escuintla. Según investigaciones se estima que un incremento de 25 a 35 por ciento en la eficiencia de estos sistemas es típicamente una meta razonable.

Generalmente, la mayor parte de las mejoras están después de la generación de vapor, esto es, en la operación y mantenimiento y en el sistema de distribución. En estas áreas normalmente se tienen fugas y equipos funcionando inadecuadamente, por lo tanto es donde se tienen pérdidas de vapor, por lo que son estas áreas las que ofrecen oportunidades de recuperar calor a través del uso de condensadores, trampas de vapor, retorno de condensados e intercambiadores de calor.

La tabla XII muestra, en porcentajes, el incremento potencial en eficiencia que puede ser alcanzado al aplicar algunas medidas de eficiencia energética en las diferentes áreas específicas de generación, operación mantenimiento y distribución.

Tabla XII. **Incremento potencial de la eficiencia en los sistemas de generación y distribución de vapor**

Medidas que se pueden aplicar en cada una de las áreas específicas del sistema de generación y distribución de vapor.	Incremento potencial de la eficiencia, en %, de cada una de las medidas aplicadas en las diferentes áreas específicas.
Mantenimiento de las calderas	1-2 %
Equipos de recuperación de calor	2-4 %
Monitoreo y control de las emisiones	1-2 %
Tratamiento de agua	10-12 %
Retorno de condensados	5-10 %
Control de carga	3-5 %
Fugas de vapor	3-5 %
Trampas de vapor	10-15 %
Aislamiento térmico	5-10 %

Fuente: Alliance to Save Energy. *Alianza para el Ahorro de Energía de EE. UU.* p. 96.

3.3.1. Mantenimiento de la caldera

Uno de los objetivos de toda institución o industria de cualquier índole es el de producir más al menor costo, además de entregar su producción o servicio al tiempo acordado, a esta ideología, todos los gerentes, ingenieros y supervisores han visto la obligación de buscar mecanismos que permitan que esta ideología sea totalmente tangible.

El mantenimiento de los equipos, en este caso de la caldera, se busca mantener al equipo o sistema en sus condiciones normales de operación o de restitución de sus condiciones específicas de funcionamiento. Es por ello que

no deben olvidarse que el mantenimiento debe expresarse como un sistema organizado que permita el mejor aprovechamiento del medio productivo.

- Mantenimiento preventivo

Para que las calderas del hospital del IGSS de Escuintla tengan un funcionamiento eficiente deben realizar acciones en forma lógica y sistemática como control del agua de alimentación, control de la presión de la bomba de bunker y el control adecuado de las purgas con la finalidad de mantenerla trabajando en condiciones específicas de funcionamiento y para reducir las posibilidades de ocurrencias de fallas; es decir, prolongar el tiempo de vida útil de la caldera. Este mantenimiento puede ser de naturaleza menor, como simples reparaciones, o como una revisión general.

- Mantenimiento correctivo

Se propone también intervenir inmediatamente después de ocurrida una falla. Por lo general estas fallas ocasionan retrasos en el servicio a los afiliados hospitalizados y en consecuencia pérdidas para la institución hospitalaria, por tal razón no debe suspenderse ningún servicio que tenga que ver con la generación de vapor para el hospital.

- Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es recomendable para las calderas ya que este procedimiento lógico y sistemático determina la ocurrencia de una falla que esté por presentarse dentro de un sistema.

- Responsabilidades del Departamento de Mantenimiento
 - Mantener en buen estado las calderas.
 - Incentivar a los integrantes de dicho departamento a capacitarse en temas que les corresponden.
 - Innovar los programas de mantenimiento a fin de que no se produzcan pérdidas ni retrasos en los trabajos.
 - Velar por el cumplimiento de las normas de Seguridad Industrial.

No debe olvidarse que la caldera es un dispositivo utilizado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmosférica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor. Este funcionamiento hace que la caldera deba tener un mantenimiento, por lo anteriormente mencionado se propone a la Gerencia de Mantenimiento del hospital del IGSS de Escuintla tomar en cuenta que los principales problemas en este tipo de circuitos son los siguientes:

- Aparición de corrosión en el sistema pre-caldera y caldera por la presencia de oxígeno disuelto en el agua de alimentación.
- Corrosión en la línea de vapor condensado por la presencia de anhídrido carbónico debido a la descomposición térmica en caldera de carbonatos y bicarbonatos.
- Incrustaciones por presencia de dureza en el agua de alimentación.

Un programa de tratamiento integral recomendado para estos sistemas es el siguiente:

- Prevención de la corrosión en caldera mediante la aplicación de un producto que asegura un secuestro casi instantáneo de oxígeno. Su control se realiza mediante la determinación de sulfito residual libre en el agua de caldera debiendo estar comprendido entre 30 y 40 ppm.
- Prevención de la corrosión en el circuito de vapor condensado mediante la aplicación de un producto para neutralizar el bajo PH del condensado. Su control es sencillo mediante la determinación del PH del condensado, el cual debe estar comprendido entre 8,3 y 9.
- Prevención de incrustaciones en el interior de caldera mediante la aplicación de un producto para evitar incrustaciones producidas por dureza en el agua de aporte, produciendo una precipitación controlada que se elimina en la purga.

De acuerdo con lo establecido este programa trae las siguientes ventajas:

- Eliminación total del oxígeno evitando su efecto corrosivo sobre el circuito.
- Eliminación del dióxido de carbono evitando la aparición de picaduras.
- Ajuste del PH en el agua de alimentación al recuperar condensado.
- Prevención de las incrustaciones mejorando el rendimiento energético de la caldera.
- Ahorro de agua, optimizando la purga en caldera.

El chequeo recomendado de las calderas es el siguiente:

- Semanal: funcionamiento de los niveles de agua, verificar taponamiento en las purgas, limpieza mecánica, revisión del tablero eléctrico de control, control del tratamiento del agua, control de la presión de bunker, revisión de válvulas combustible, revisión de luces y alarmas de seguridad.
- Mensual: análisis de combustión, revisión de levas, revisión del funcionamiento adecuado de los motores eléctricos y revisión de filtros de combustible.
- Trimestral: funcionamiento de los niveles de agua, revisar el funcionamiento del *pressuretrol*, revisar el funcionamiento de los manómetros de la caldera y la bomba de agua, revisar el estado de los termómetros de la chimenea, revisión de las válvulas de seguridad. Nota: se recomienda no recalibrar las válvulas de seguridad en sitio sino enviarlas a bancos de calibración especializados para que les cambien el resorte.
- Semestral: revisar el estado de las bombas de alimentación de agua que por desgaste no son capaces de mantener el nivel del agua en la caldera, revisión del precalentador de bunker, revisión de válvulas de seguridad, revisión de estopas y empaques de la caldera y revisión del estado de los tubos, revisar la parte interna de la caldera destapando los “*manholes*” y “*hanóholes*” para inspeccionar la corrosión e incrustación, en la parte externa de los tubos del piro tubo.

Es muy importante que el mantenimiento de la caldera sea realizado acorde a la fecha calendarizada. Lo siguiente es una recomendación de una calendarización sobre las partes de la caldera que deben recibir mantenimiento.

Tabla XIII. Calendarización de actividades recomendadas para mantenimiento de las calderas

Núm.	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral
1	Revisar niveles de agua	Inspeccionar el quemador	Revisar niveles de agua	Limpieza de las superficies del hogar y recámara de la caldera
2	Revisar taponamientos en las purgas	Analizar combustión	Revisar presiones y temperaturas	Revisar estado de bombas de alimentación de agua y combustible
3	Revisar el tablero eléctrico de control	Chequear levas	Revisar la bomba de agua	Revisar válvulas de seguridad y precalentador de bunker
4	Control del tratamiento de agua	Revisión de motores eléctricos	Revisar estado de termómetro de la chimenea	Revisar y cambiar empaques, estopas y refractario
5	Control de la presión de bunker	Revisar filtros de combustible	Inspeccionar las válvulas de seguridad	Revisar corrosión e incrustación en la parte interna de la caldera
6	Revisar válvulas de combustible	Inspeccionar fugas de vapor	Revisar el sistema de alimentación de químicos	Revisar interruptores de mercurio
7	Revisar sistema de luces y alarmas de seguridad	Chequear el alimentador de aire	Revisar alineación de acoples de bombas	Limpieza de filtros y llaves de combustible y agua
8	Revisar engrase y lubricación	Repasar el procedimiento de purga de la caldera	Revisar niveles de fluidos en válvulas hidráulicas	Chequear el sistema de alimentadores para químicos

Fuente: elaboración propia.

El mantenimiento desempeña una gran labor ya que esta permite utilizar las calderas el mayor tiempo posible de acuerdo como se ejecuta el cuidado. Al carecerse de un buen mantenimiento de sus equipos que son los que le permiten procesar algunos de los servicios básicos de sus afiliados, trae como consecuencia que las calderas puedan presentar fallas a corto y a largo plazo, estas fallas progresivamente afectan los objetivos de la institución hospitalaria.

Por esta razón hay que tomar el mantenimiento preventivo con suma importancia, así como el correctivo y el predictivo y hacer un cronograma de actividades para las calderas para que se ejecuten de la mejor manera que permita menos paros por mantenimiento, además, hay que tener en cuenta que las personas o empleados que ejecuten este proceso estén bien preparadas y supervisadas estrictamente.

Parámetros a controlar en el agua de alimentación

- PH: identifica el nivel de agresividad química del agua. En las purgas el PH debe estar entre 10 y 10,5; dentro de estos valores la caldera se conserva adecuadamente. Si el PH es mayor que 11 comienza un fenómeno indeseable, que es la fragilidad cáustica.
- Dureza total: indica la cantidad de sales minerales disueltas en el agua; una alta dureza en el agua de alimentación causa la formación de depósitos muy duros, sobre las superficies de calentamiento y evaporación, llamados incrustaciones que disminuyen la eficiencia de producción de vapor y originan daños por rotura de tuberías. La dureza se contrarresta directamente sobre el agua de alimentación, antes de que esta ingrese a la caldera, mediante el uso de equipos de operación sencilla, los suavizadores, que usan resinas de intercambio iónico; también se usan los inhibidores de dureza, llamados equipos solavite.
- Sólidos disueltos: el agua de alimentación para calderas debe ser translúcida (baja turbidez), por consiguiente se debe contar con una planta general de tratamiento de agua cruda, que garantice una eficiente remoción de los sólidos en suspensión, causantes de una alta turbidez; al

no removerlos previamente, ocasionan taponamientos en tuberías e incrustaciones dentro de la caldera.

- Contenido de hierro: el hierro presente en el agua de alimentación para calderas es corrosivo y debe eliminarse. Es necesario poner atención a este parámetro cuando el agua que se usa para la planta de beneficio primario es de pozo profundo. El hierro se elimina mediante oxidación, floculación y filtración, en la planta de tratamiento de agua cruda.
- Oxígeno disuelto: el oxígeno es otro de los enemigos de las calderas; se encuentra disuelto en el agua de alimentación y es completamente necesario retirarlo. De lo contrario produce el fenómeno conocido como “*pitting*” en las tuberías de evaporación dentro de las calderas, que se manifiesta como “huecos” o manchas fácilmente reconocibles. Cuando el agua de alimentación tiene bastante oxígeno disuelto, el daño de las tuberías es muy rápido. El agua de alimentación para calderas debe tener 0,0 ppm de oxígeno disuelto. El oxígeno se retira del agua usando desaireadores, químicos o precalentando el agua.

3.3.2. Corrección de fugas

La pérdida de calor por falta de corrección de fugas y de aislamiento térmico en las tuberías es muy común en los sistemas de vapor, en el caso del hospital del IGSS de Escuintla, existen seis fugas de vapor en todo el sistema, que deben corregirse tan pronto sea posible. Las siguientes son sugerencias para evitar fugas de vapor en la tubería y sus accesorios.

- Cambiar la llave de compuerta en el tanque de agua caliente.
- Aplicar soldadura o cambiar el serpentín.

- Reparar la válvula: cambiar la estopa o empaque, cambiar la llave completa o calibrar la misma.

3.3.3. Instalación de aislante térmico en tuberías y accesorios

Para la instalación de aislante térmico en tuberías y accesorios se recomienda que antes del montaje, deba comprobarse que las tuberías no estén rotas, dobladas, aplastadas, oxidadas o dañadas de cualquier manera. Para dicha instalación se harán de forma ordenada.

La separación entre la superficie exterior del recubrimiento de una tubería y cualquier otro elemento será tal que permita la manipulación y el mantenimiento del aislante térmico, si existe, así como de válvulas, purgadores, aparatos de medida y control entre otros.

El órgano de mando de las válvulas no deberá interferir con el aislante térmico de la tubería. Las válvulas roscadas y las de mariposa deben estar correctamente acopladas a las tuberías, de forma que no haya interferencia.

La alineación de las canalizaciones en uniones, cambios de sección y derivaciones se realizará sin forzar las tuberías, empleando los correspondientes accesorios o piezas especiales.

El aislamiento térmico de tuberías conductoras de vapor y de equipos con camisas de vapor y accesorios es muy importante para lograr una eficiencia del vapor y a la vez ahorrar energía. Una tubería sin aislar o mal aislada, aparte de las pérdidas de energía, ocasiona problemas mecánicos por el incremento de condensados, tales como:

- Al tener condensados adicionales a los producidos por los intercambiadores, las trampas de vapor deberán desalojarlos teniendo que trabajar más, con mayor desgaste y mayor mantenimiento.
- Ocurre mayor desgaste de tuberías por el transporte de condensados.
- Riesgo grande de golpes de ariete, principalmente en las tuberías mal drenadas.

Para evitar estas consecuencias se propone corregir las fugas de vapor y aislar térmica y adecuadamente las tuberías y accesorios. Para ello se recomienda algunos tipos de aislantes térmicos los cuales se describen a continuación:

- Reflectores o reflectantes: existen sistemas aislantes que usan pantallas reflectantes para disminuir las pérdidas de radiación (láminas de aluminio brillante).
- Porosos (o esponjosos): la mayoría de los materiales usados como aislantes son porosos, manteniendo aire atrapado en su interior. El aire encerrado en los poros queda casi absolutamente estático; esto ocurre en los materiales con poros cerrados (poliestireno y poliuretano expandido), o con muy poca movilidad en aislante con poros abiertos (lana mineral, cortinas gruesas).
- Aire estático: es un sistema de construcción que se basa en el mismo principio anterior: el aire quieto es un excelente aislante. Ejemplo: vidrio doble, doble pared, doble puerta, entre otros.

Los aislantes porosos o por aire estático pierden sus propiedades cuando se mojan, ya que el agua es un excelente conductor del calor. En Guatemala los aislantes más comunes en el comercio son los materiales porosos, que se aplican en forma de colchonetas, planchas, granulados, caños premoldeados, ladrillos o bien en forma de una pasta plástica. El uso de estos es de acuerdo a la factibilidad financiera de la administración del hospital de IGSS de Escuintla.

Se recomienda considerar los criterios siguientes al seleccionar un material aislante:

- Precio del aislante y costo de la instalación.
- Conductividad térmica.
- Resistencia mecánica.
- Método de aplicación y forma de la pieza que se aísla.
- Rango de temperatura de trabajo
- Comprobar si es necesario remover periódicamente el aislante para inspecciones y reparaciones del equipo.
- Condiciones ambientales del lugar de operación.

Cuando el aislamiento a lo largo del tiempo se deteriora, pierde su capacidad de retener calor, y por lo tanto se estaría generando una menor cantidad de vapor que al comienzo.

La solución de este problema, consiste en corregir las fugas de vapor y cambiar el aislamiento deteriorado por un adecuado. Como resultado se obtiene un ahorro de combustible en el sistema, ya que se alcanzarán nuevamente los niveles de disponibilidad de calor para el vapor, pudiendo funcionar en mejores condiciones los equipos accionados por esta.

3.3.4. Mantenimiento de trampas de vapor

En una red de distribución de vapor, el mal funcionamiento y deterioro de las trampas de vapor o purgadores puede producir pérdidas superiores al 10 % del total producido por las calderas. Es muy importante que el jefe de Mantenimiento del hospital del IGSS de Escuintla preste la debida atención a dichos dispositivos, para lo cual se propone considerar lo siguiente:

- Selección del tipo adecuado de trampa para el servicio requerido.
- Diseño adecuado de las tuberías de drenaje de condensado.
- Uso de filtros de protección para las trampas.
- Revisiones periódicas del funcionamiento de trampas y limpieza de filtros.
- Mantenimiento necesario para conservar el sistema trabajando en las condiciones óptimas.

Por otro lado, también en las válvulas de bloqueo y *bypass* de las trampas puede haber fugas si estas están en mal estado; esto es, si no cierran herméticamente o fallan en el cierre. Una sola trampa mediana trabajando defectuosamente puede tener una pérdida de vapor de unos 20 kg/h, lo cual puede significar un consumo adicional de combustible en la caldera de 0,4 gal/h o 2 800 gal/año (considerándose un rendimiento de 50 kg/gal en la caldera y una operación de 7 000 h/año).

En este caso en la red de vapor se encuentran más de una docena de trampas, es fácil encontrar que en algunas de ellas presentan fugas de vapor, siendo lo admisible en la práctica un margen de fallas de un 5 % como máximo. Ello puede significar pérdidas cuantiosas de dinero para la empresa por el mayor consumo de combustible. Dichas pérdidas pueden suprimirse con una

pequeña inversión en mantenimiento y control, amortizable en la mayoría de los casos en menos de un mes.

Se recomienda comprobar el funcionamiento de las trampas de vapor, usando los métodos visuales como control por mirillas en línea, control por medición de temperaturas antes y después de la trampa, lo cual debe complementarlo con otros métodos y el método acústico. Cada método tiene sus ventajas como desventajas y algunos de ellos son más eficientes para determinado tipo de trampas que otros. En todo caso conviene muchas veces usar dos métodos para comprobar a una misma trampa.

De todas formas hay que tener en cuenta que aún la mejor trampa con un mantenimiento pobre y descuidado, dará origen a pérdidas importantes que se pueden evitar. El monitoreo de trampas permitirá conocer periódicamente el estado de las trampas y de acuerdo a ello tomar acciones preventivas o correctivas. La periodicidad del monitoreo dependerá de las horas de funcionamiento del sistema de vapor, de la presión de trabajo, del modo de operación del sistema, del diseño del mismo, entre otros.

Para el mantenimiento de trampas de vapor se propone los criterios siguientes:

- Monitorización continua
- Medida simultanea de varios parámetros de la trampa
- Inspección continua del sistema
- Detección prematura de fallas de la trampa
- Evaluación del rendimiento energético de la trampa
- Registro continuo o histórico del funcionamiento de la trampa
- Reparación *in situ* de la trampa sin interrupción de su operación

3.3.5. Ficha de control de mantenimiento

Mediante las fichas de control de las trampas de vapor se evalúan el rendimiento energético, aislamiento térmico, fugas de vapor, corrosión, eficiencia del drenaje de condensado, permeabilidad de filtros y control de temperatura entre otros. Con esta auditoría se encuentran las oportunidades de ahorro, uso y administración de la energía y por ende ahorro en los costos operativos, mejor calidad de vapor y mayor productividad.

Con esta propuesta se pretende la identificación de las oportunidades de mejora y resolver los problemas encontrados de acuerdo a una ficha de control.

A continuación se presenta una ficha de control para trampa de vapor con datos de importancia que servirán para llevar un archivo de las mismas.

Tabla XIV. **Control de mantenimiento de trampas de vapor**

CÓDIGO DE TRAMPA	PRESIÓN ESTABLECIDA PSI	RANGO O SECUENCIA DE INSPECCIÓN
	0 a 30	ANUAL
	30 a 100	SEMESTRAL
	100 a 250	TRIMESTRAL O MENSUAL
	250 a más	MENSUAL O SEMANAL

Fuente: Armstrong International. *Guía para conservación de vapor en drenado de condensados.*

p. 112.

CONCLUSIONES

1. Se realizó una inspección a toda la red de distribución de vapor, a los equipos que consumen vapor y a las calderas, como resultado de esta inspección se detectaron algunos aspectos anormales que influyen en el consumo de combustible y otros recursos que al final se convierten en costos o pérdidas en el año, cuyas pérdidas pueden convertirse en ahorro. Esto genera la necesidad de crear programas de mantenimiento preventivo y correctivo orientados a minimizar las pérdidas económicas que se generan por falta de supervisión y mantenimiento.
2. Se detectaron tramos de tuberías y accesorios sin aislante térmico y en algunos casos con el aislante defectuoso necesitando reemplazo, estos tramos sin aislante y con aislante térmico defectuoso conlleva a un consumo innecesario de combustible, y un deterioro de la tubería debido a la formación de condensado que se produce por las diferencias de temperatura entre el vapor y el ambiente, y el golpeteo que se produce.
3. La tabla siguiente muestra datos calculados y propiedades en los tramos de tubería sin aislante térmico como también las pérdidas calculadas que fueron 13 514,52 Q/año en dólares cuyo valor era 1 694,74 \$/año. El valor del dólar en 2004, fecha en que se realizó el estudio en el hospital tenía un valor de Q 7,90 quetzales por dólar el cual se tomó para realizar la conversión y así expresar el valor de las pérdidas en quetzales y en dólares.

Estas pérdidas pueden convertirse en un ahorro factible si se corrige el problema y se lleva un plan adecuado de supervisión y mantenimiento para mejorar la durabilidad del aislante.

4. Durante la inspección también se detectaron 9 fugas de vapor con longitudes de pluma de 3,2 y 1 pie de longitud, estas se convierten en pérdidas económicas y deterioro del material de la tubería según el aumento de la fuga. Es importante la corrección de ellas y evitar que aumenten de tamaño debido a que presentan el mayor porcentaje en cuanto a las pérdidas calculadas.
5. No hay ningún control de la eficiencia de combustión de la producción de vapor ni de la supervisión de mantenimiento de la red de tubería de vapor y de sus accesorios, por eso se deben monitorear las fallas que se puedan dar para darles su seguimiento.
6. Se encontró el cuarto de calderas muy sucio y la tubería sin identificación, sin fichas de control de supervisión de los equipos y fugas de agua innecesarias, tampoco se lleva control de la producción de vapor, mucho menos el control de los costos de producción del mismo (vapor).
7. No hay rutinas de inspección de la red y de los equipos, tampoco ficha de control de operación que permitan atender las fugas con más prontitud, así como charlas de concienciación y operación efectiva de los equipos y de supervisión de la red.

RECOMENDACIONES

1. Con la creación y ejecución de un plan o programa de mantenimiento preventivo y correctivo que se presenta en el anexo, y llevar a cabo la ejecución de las rutinas de inspección o supervisión de la red y sus accesorios, como también los equipos generadores y consumidores de vapor y tomando en cuenta la posibilidad de capacitación en operación y fuera de operación del personal de mantenimiento, se puede obtener la reducción o eliminación de las pérdidas encontradas ya que estas pueden convertirse en un ahorro no solo económico sino también de recurso humano y material.

A continuación, se presentan algunas actividades de mantenimiento correctivo que se deben tomar en cuenta como inicio a un corto plazo:

- Eliminar el aislante defectuoso y reemplazarlo por uno adecuado y en buen estado, por ejemplo cañuela de fibra de vidrio de 1 pulgada de espesor para tubería de vapor, con base al diámetro de la tubería y para la red de condensado se recomienda un espesor de $\frac{3}{4}$ ". También es necesario aislar los accesorios de la red de vapor por ejemplo codos, tees, válvulas, entre otros, para evitar las diferencias de temperaturas entre el vapor y el ambiente.
- Darle seguimiento a las rutinas de inspección y supervisión a la red de vapor para la detección de fugas de vapor, ya que estas pueden dañar el aislante y causar efectos en cuanto a costos o pérdidas en la producción de vapor, así como supervisar el ajuste de los cargadores de tubería.

- Revisar los accesorios, como: filtros, cheques y llaves de compuerta; revisar la estopa y cambiarla si hubiese necesidad, así como cualquier accesorio en mal estado.
- Reparar el flote del tanque de alimentación de agua para evitar fugas innecesarias.
- Capacitar a los mecánicos de calderas en cuanto a la operación y utilidad de los recursos para la producción de vapor y sobre higiene y seguridad industrial, debido a que el cuarto de calderas siempre se encuentra desordenado y sucio.
- Llevar un control de la producción de vapor para una mejor optimización de los recursos a utilizar.
- Identificar la tubería de vapor y condensados por colores con base en la Norma INEN 440 (*Norma ecuatoriana para señalización de tuberías de vapor y agua caliente*), vapor de agua gris plata, agua caliente color verde y el sentido del flujo según el destino o dirección del vapor.
- Implementar y por medio de fichas de control la supervisión de la red de vapor y sus accesorios, calderas y equipos consumidores de vapor.
- Codificar para identificar las trampas de vapor según sus características de desempeño con placas de acero para supervisar su funcionamiento óptimo.

- Elaborar reportes reales en cuanto a mantenimiento, producción de vapor, costos de producción y utilización óptima de los recursos a utilizar en la generación de vapor.
- Actualizar planos de la red de vapor en cuanto a la distribución del mismo, para un mejor control en cuanto al mantenimiento de la red y sus accesorios.
- Cambiar los manómetros en mal estado y mantener constante supervisión de los mismos.
- Mantener el área de calderas limpia y ordenada para que tenga un libre acceso tanto del personal de mantenimiento como de cualquier supervisor, y así exista una buena observación en caso de una fuga y así corregirla.
- Crear un programa de capacitación en cuanto a la operación y mantenimiento de las calderas y la red de vapor.

BIBLIOGRAFÍA

1. Armstrong International. *Manual de trampas de vapor*. [en línea]. <<https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/108spanish.pdf>>. [Consulta: septiembre de 2014].
2. _____. *Valves, Controls, Steam Specialties*. [en línea]. <www.armstrong-intl.com/products/traps>. [Consulta: septiembre de 2014].
3. CENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. 4a ed. University of Nevada, Reno: McGraw-Hill, 2003. 829 p.
4. GARCÍA FERRER, Carlos Alberto. *Vapor de agua: teoría y aplicaciones*. México: Limusa, 1998. 423 p.
5. GOODING GARAVITO, Nestor. *Operaciones Unitarias II: Manual de Prácticas*. Santafé de Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. 230 p.
6. KOHAN, Anthony L. *Manual de calderas*. 4a. ed. España: McGraw-Hill / Interamericana de España, 2000. 752 p.
7. *Manual del Ingeniero Químico*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 1998. 148 p.

8. McCabe, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 1997. 112 p.
9. SEVERNS, W. H. *Producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y gases*. México: Reverté, 1997. 503 p.
10. SHIELD, Carl. *Calderas: tipos, características y sus funciones*. México: Continental, 1965. 716 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos calculados sobre pérdidas de calor por falta de aislante térmico

Longitud Tubería Pies	Diámetro Tubería Pulgs.	Presión Tubería Psig	Temp. Sat. ° F	Costo de Combust. Q/ galón	Perdidas Q / año	Perdidas \$ / año
4	3/4	80	323,45	12,0202	258,84	32,46
19,68	3/4	60	307,35	12,0202	1 154,74	144,7
59,04	1	100	337,86	12,0202	5 127,82	642,99
21,12	2"	100	337,86	12,0202	3 169,33	397,41
14	4"	100	337,86	12,0202	3,804	477,09
					13 514,73	1 694,65

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Datos calculados sobre pérdidas por fugas de vapor

Longitud Pluma Pies	Presión Psig	Costo de energía Q / Mbtu	Costo c/1 000 Lb \$ / Lb	Costo C/1 000 Lb Q / Lb	Costo anual debido a Fugas \$ / año	Costo anual debido a fugas Q / año	Diámetro de tubería con fugas Pulgs	Ubicación de fugas de vapor
3	100	80,1	11,26	89,77	1458,33	11 630,21	3/4	Pre calentador de bunker
2	100	80,1	11,26	89,77	958,33	7 642,68	4	Flansh (manifold de distribución de vapor)
2	100	80,1	11,26	89,77	958,33	7 642,68	4	flansh (Entrada de vapor de la caldera núm. 2)
2	100	80,1	11,26	89,77	958,33	7 642,68		Válvula de seguridad de la caldera núm. 1
1	50	80,1	11,26	89,77	483,33	3 854,56	3/4	Tubería de autoclave
1	100	80,1	11,26	89,77	483,33	3 854,56	2	Llave de salida hacia la cocina

Continuación del apéndice 2.

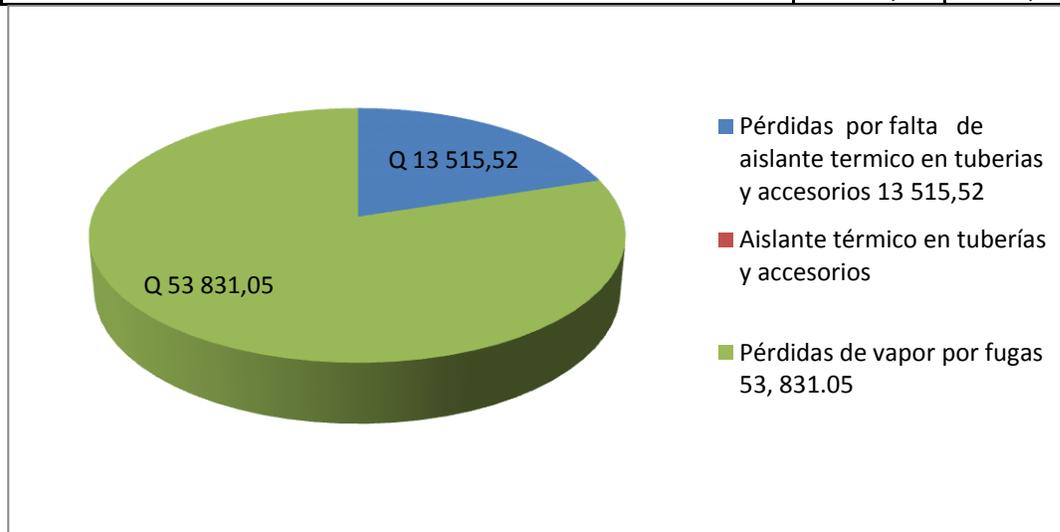
1	100	80,1	11,26	89,77	483,33	3 854,56	2	Llave de salida hacia lavandería
1	100	80,1	11,26	89,77	483,33	3 854,56	3/4	Llave de tanque de agua caliente
1	100	80,1	11,26	89,77	483,33	3 854,56	3/4	Llave de salida hacia central de equipos
						6 749,97	53 831,05	
						\$/año	\$/año	

Fuente: elaboración propia.

El siguiente cuadro muestra un resumen de pérdidas encontradas durante toda la inspección y su gráfica correspondiente.

Apéndice 3. Pérdidas por falta de aislamiento en tuberías y accesorios

	Q / año	\$/ año
Pérdidas por falta de aislante térmico en tuberías y accesorios	13 515,52	1 694,74
Pérdidas por fugas de vapor	53 831,05	6 749,97
	67 346,57	8 444,71



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Anexo 1. **Generalidades y plan de mantenimiento**

- Calderas del hospital
- Red o distribución de vapor
- Trampas de vapor

Plan de mantenimiento de caldera del hospital

Diario (puesta en marcha o arranque)

- Revisar que estén cerradas:
 - Llaves de purga (fondo y nivel superior)
 - Drenaje de columna de agua
 - Revisar que estén abiertas:
 - Llaves de alimentación de agua, del tubo indicador de nivel de agua, del suministro de combustible, de alimentación de vapor al pre calentador, de llenado del tanque de condensados.
- Revisar nivel de agua en la caldera, abriendo las llaves de prueba y fondo del tubo indicador y volviendo a cerrar.
- Comprobar nivel de condensado del tanque.
- Prender la caldera por 10 minutos y pararla por 3 minutos, repetir hasta obtener 50 psi, efectúe procedimiento de purga; luego deje funcionar la caldera hasta que alcance la presión de trabajo.
- Abrir lentamente la llave de suministro de vapor 01

Semanal

- Hacer análisis de agua, comprobando en especial la dureza, el pH, sólidos disueltos.
- Chequear
- Revisar funcionamiento del quemador y combustión.
- Revisar niveles de operación del control de nivel de agua.
- Revisar válvulas a purga de nivel.
- Revisar fugas de agua, vapor, combustible, gases de combustión, gas propano, en el cuerpo de la caldera.
- Revisar el filtro y línea de combustible.
- Anotar lectura de temperatura de gases de combustión.
- Revisar estado de los acoples de motor-compresor y motor bomba de agua.
- Revisar la tensión de faja de transmisión de la bomba combustible.

Mensual

- Revisión de:
 - Cápsulas de mercurio del nivel de agua.
 - Válvulas en general.
 - Prensa-estopa y accesorios de tubería de alimentación de agua.
 - Boquillas del quemador, electrodo de ignición, aisladores del electrodo de ignición, fotocelda.
 - Válvulas de seguridad, (acciónela manualmente comprobando la descarga y su sello hermético al cerrar.
 - Limpiar y revisar válvulas, tanque de salmuera y tubería del suavizador de agua.

- Lubricar cojinetes de motores del ventilador, compresor, bomba de agua y bomba de combustible, y verificar el suave funcionamiento de los cojinetes, de ser ruidoso, cambiar inmediatamente.
- Verificar alineación en los acoples y transmisión de los motores del ventilador, compresor. Bombas de combustibles y agua.

Trimestral

- Limpieza del cuerpo del quemador y piloto de gas.
- Limpieza y revisión de trampa para vapor del pre calentador de combustible.
- Abrir válvula para purgar los depósitos del tanque de condensados.
- Revisar estado de la válvula reguladora de gas propano y el funcionamiento de la válvula solenoide.
- Verificar el funcionamiento adecuado de las válvulas solenoides del sistema de alimentación de combustible.
- Revisar y limpiar terminales y contactos eléctricos, eliminar picaduras en platinos de contactores; ajustar conexiones.
- Limpiar el control programador.
- Revisar controles de presión y termostatos.
- Hacer pruebas en las válvulas de seguridad, elevando la presión de disparo, la capacidad de descarga y el cierre hermético.
- Verificar vibraciones anormales de motor-compresor, motor ventilador, motor-bomba de combustible y motor-bomba de agua.

Semestral (sacar del servicio la caldera)

- Limpiar flotador, diagrama del flotador y columna del McDonnell.
- Limpiar lado de agua, conexiones y tubería, limpiar lado de fuego.

- Revisar material refractario, cambiar empaques de compuertas y tortugas, revisar pernos de compuertas.
- Revisar válvulas solenoides del sistema de combustibles.
- Desarmar, revisar y limpiar profundamente el motor-compresor para aire de atomización, reemplazar las partes que sean necesarias, (cojinetes, retenedores, planetas del compresor, entre otros).
- Desarmar, revisar y limpiar profundamente el conjunto motor-ventilador, reemplazar las partes que sean necesarias.
- Desarmar, revisar y limpiar profundamente el conjunto motor-bomba de combustible, reemplazar las partes que sean necesarias.
- Desarmar, revisar y limpiar profundamente el conjunto motor-bomba de agua, reemplazar las partes que sean necesarias. Obligadamente reemplazar estopa.
- Revisar y limpiar el pre calentador eléctrico de combustible.
- Revisar y limpiar el interior del tanque de condensado, así como la válvula flote, el filtro de descarga a la bomba de agua, tubo indicador de nivel.
- Revisar las mangueras de combustible. Reemplazar de ser necesario.
- Revisar la válvula reguladora de presión de combustible.
- Inspeccionar el estado de la pintura, pintar completamente de ser necesario.

Al cerrar la caldera tenga el mayor cuidado de prepararla para el tiempo en que estará fuera de servicio. Esto es llenarla completamente, teniendo el cuidado de evacuar aire del interior y, preparar el agua con sulfitos para prevenir corrosión en el interior de la misma.

Cuando la caldera a operado durante dos semestres, alternados, prepare la caldera para efectuarle la prueba hidrostática.

Procedimiento

- Demostrar compuerta trasera y delantera.
- Abrir la llave superior del nivel de agua o la llave de ventilación.
- Cerrar la llave principal de salida de vapor y la del pre calentador.
- Cerrar todas las llaves de purga.
- Desmontar válvulas de seguridad y ponga tapones.
- Proceder a introducir agua a la caldera utilizando la bomba de alimentación bajo control manual.
- Cuando salga agua por la llave superior del nivel de agua o por la ventilación, cerrarla.
- Observar el manómetro, permita que la presión se eleve hasta 1,5 veces de presión de trabajo, en etapas de 40 Lb con intervalos de 1 minuto, en ese momento apague la bomba.
- Observar, durante un período de 30 minutos, si hay fugas de agua en los tubos, en las placas o espejos y en las válvulas. Si es posible efectuar la reparación, proceder de inmediato.
- Abrir lentamente la válvula de drenaje de la columna de agua para reducir la presión.

Red o sistema de distribución de vapor

Aspectos a considerar y elementos que integran la red de vapor de condensado.

- Pendiente mínima del 1 % en dirección del flujo de condensado.
- Soportes colocados cada 03 metros, que permitan el desplazamiento de la tubería, intercalando a intervalos las juntas de expansión.

- Anclajes o guía, tienen por objetivo asegurar los puntos deseados de la tubería en posiciones fijas, permitiendo a la vez expansión y contracción libre en dirección opuesta desde el punto anclado.

Elementos de la red

Material aislante, soportes, juntas de dilatación, anclajes o guías, válvulas (globo, compuerta, retención, “Y”, reductora de presión y temperatura), filtros, uniones, flanges, separadores de vapor, trampas para vapor, instrumentos y equipos de medición y control.

Mantenimiento de la Red.

MENSUAL

- Revisar si hay pérdidas en uniones. Tees, codos, entre otros.
- Revisar juntas de expansión, ajustando los topes de sujeción y los prensa estopas en casos necesarios.
- Revisar el aislamiento térmico por desprendimiento, erosión, etc.
- Ver estado de anclajes y soportes de tuberías (ruptura, aflojamiento, deterioro).
- Ver estado general de la tubería.
- Revisar: trampas para vapor, reguladores, válvulas, filtros y demás accesorios.
- Revisar el tanque de condensado y sus accesorios.
- Revisar la lectura de manómetros y su estado físico funcional.

A anual

- Desmontar las trampas de vapor, para ver el estado de los elementos internos, limpiar o reemplazar en caso necesario.
- Revisar y ajustar todos los manómetros de la instalación.
- Cambiar empaquetaduras de la junta de expansión.
- Efectuar todas las reparaciones que sean necesarias con base en la inspección general de las instalaciones.

Trampas de vapor

Si bien es cierto que las trampas se consideran como un equipo muy confiable y de larga vida útil, no implica que no se cuente con un programa adecuado de mantenimiento. Un programa organizado de mantenimiento para trampas implica además de: limpieza de filtros, reemplazar partes internas que muestran desgaste, monitoreo, pruebas, etc. Acciones de inspección, pruebas e inventario en la planta.

La periodicidad de estos trabajos dependerá de la aplicación y a la presión de trabajo de la trampa por lo que algunas serán revisadas más frecuentemente que otras.

Intervalos de verificación según la presión de la trampa pueden ser:

De 0...30 psiq....Inspección anual

De 30...100 psiq.... Inspección semestral

De 100...250 psiq....Inspección trimestral o mensual

Mas de...250 psiq....Inspección mensual o semanal.

Es recomendable que en el Depto. de Mantenimiento se tenga una lista central de trampas, que indique las especificaciones, fechas, resultados de las inspecciones y prueba así como los trabajos efectuados y partes cambiadas.

Debido a la gran durabilidad de las partes constantemente, se debe poner especial énfasis en las rutinas de inspección y pruebas.

Básicamente las trampas de vapor o fallan abiertas o fallan cerradas y, para determinar si la trampa falla, se pueden aplicar las siguientes pruebas inspecciones:

Salpicar la trampa

Es muy confiable para determinar si la trampa opera. Lo que se consigue es saber si la tubería está caliente o fría (no tocarla).

Si la trampa y la tubería de descarga están frías y se comprueba que hay alimentación de vapor se concluye que la trampa deja fugar vapor.

Sonido

Con un destornillador, de preferencia de cabo plástico, colocar la punta metálica tocando la trampa cerca de la salida y el cabo puesto al oído. Escuchar si hay descarga.

Podrá oír la diferencia entre la descarga intermitente de algunas trampas y la descarga intermitente de algunas trampas y la descarga continua de otras. La

condición correcta de operación puede distinguirse por el sonido de más alta velocidad de una trampa que está descargando. Si existe mucho traqueteo en el interior, la trampa puede haber perdido cebado. Al hacer esta prueba, no se debe engañar por ruidos telegrafados a lo largo del tubo.

Inspección visual

Para efectuar una buena inspección visual se necesita reconocer la diferencia entre el vapor vivo y el vapor instantáneo (vapor *flash*). Lo que debe mirar cuando se abre la válvula de prueba es:

- Descarga del condensador:
Las trampas de balde o cubeta invertida deben tener una descarga intermitente. Las trampas de flotador y termostato deben tener una descarga de condensado continua.
- Vapor *Flash*:
No lo confunda o no lo tome por una filtración de vapor a través de la válvula de la trampa. Con vapor de alta presión una trampa en buenas condiciones descargará junto con el condensado (gotas claramente visibles) una apreciable cantidad de vapor *flash*.
Los usuarios de las trampas pueden confundir el vapor *flash* con vapor vivo que se esté perdiendo; ¿cómo saber la diferencia?
- El vapor instantáneo o *flash* es de baja velocidad, empieza a subir rápidamente (flota intermitentemente cada vez que la trampa descarga) en una nube blanquizca, y normalmente aparece con el condensado.

- Si el vapor que sale es un chorro más fuerte y bien definido e invisible hasta la primera pulgada después de la salida de la tubería, es vapor vivo o vapor filtrado. Este flujo de vapor también puede aparecer en una corriente “azul”.

Este método es el mejor. Se requiere instalar una T a la salida de la trampa y una válvula de tres pasos.

Existen otros métodos como: el pirómetro, estetoscopio industrial, detector ultrasónico de fugas, lápices termo sensibles, pero el costo de estos es muy elevado.

De las inspecciones y pruebas se encontrarán fallas de las cuales se tendrán que determinar su causa. Habiendo determinado que una trampa está en malas condiciones es necesario repararla.

Para trampas permanentemente selladas, el problema se resuelve cambiándolas. Para trampas sujetas a mantenimiento es necesario contar con los repuestos y procedimientos de mantenimiento para cada tipo o marca de trampa.

Las siguientes sugerencias para mantenimiento apropiado son muy generales, ya que antes de iniciar un trabajo de reparación debe estudiarse los detalles de mantenimiento y seleccionarse los repuestos específicos para cada trampa en particular.

- Antes de iniciar cualquier trabajo de reparación, asegurarse que la trampa esté completamente aislada.

- Con un aislado apropiado, la reparación de muchos tipos de trampa puede llevarse a cabo con ellas, las trampas, montadas en la línea.
- Consultar el manual del fabricante y las listas de repuestos disponibles.
- Asegurarse que se usan los repuestos correctos para cada tipo de trampa.
- Cuando se ensamble, cambiar los empaques aplicando una película delgada de algún sellante. Asegurarse de limpiar bien todas las caras donde se instalarán los empaques.
- Si es práctico limpiar las mallas de los filtros internos.
- Limpiar periódicamente las mallas de los filtros que preceden a las trampas de vapor.

Fuente: GARCÍA, Carlos. *Optimización de los recursos de vapor y agua potable del hospital general Dr. Juan José Arévalo Bermejo*. p. 30.

